



**André Gonçalves
Santiago**

**Medidas de eficiência energética na empresa Love
Tiles**



**André Gonçalves
Santiago**

**Medidas de eficiência energética na empresa Love
Tiles**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Joaquim Borges Gouveia, Professor Catedrático do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro.

Agradecimentos

Gostava de agradecer:

– Ao meu orientador Prof. Doutor Borges Gouveia e ao co-orientador Prof. Miguel Oliveira pelo acompanhamento e valiosas contribuições para o desenvolvimento da dissertação.

– À empresa Love Tiles, onde foi realizado o estágio, com particular destaque ao Eng. Ernesto Maia e ao Eng. Pedro Costa.

– Ao Oceans7 por toda a força e motivação concedida durante a realização de todo o percurso académico.

– Ao grupo Oldschool por todas as noites de convívio concedidas durante a realização de todo o percurso académico.

– À família e namorada pelo apoio.

o júri

Presidente

Professor Doutor Luís António da Cruz Tarelho
Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro

Orientador

Professor Doutor Joaquim José Borges Gouveia
Professor Catedrático Aposentado, Universidade de Aveiro

Arguente

Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos
Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro

Palavras-chave

Eficiência energética; Medidas de racionalização de consumo; Indústria cerâmica

Resumo

A tendência de aumento do crescimento populacional e do consumo energético global obrigou a uma maior consciencialização da importância que os recursos energéticos representam para o desenvolvimento económico e social dos países. Assim, foi necessário desenvolver planos de intervenção para promover a sustentabilidade a nível global. A eficiência energética começou a aparecer como uma das possíveis soluções para todos os setores. A indústria cerâmica não é exceção à regra, no entanto, existe ainda uma grande margem de progressão.

Este trabalho apresenta uma metodologia para a análise do potencial de diminuição de consumo de energia elétrica para uma empresa cerâmica, no entanto poderá ser aplicável a toda a indústria.

Pretende-se assim avaliar a possibilidade da substituição de iluminação, motores e compressores por tecnologias mais evoluídas, que possibilitem a diminuição da faturação energética.

São apresentados procedimentos para o levantamento de dados bem como, depois, para a análise das potencialidades de aumento de eficiência energética. Para isto foi utilizado um analisador de energia, uma câmara termográfica, um tacómetro, os *software* Dialux e MATLAB, que permitiram simular os casos de estudo presentes na empresa.

Pode-se afirmar que caso todas as mudanças propostas sejam aplicadas será possível diminuir a intensidade energética e o consumo específico em 0,74 %, investindo-se 83061,25 € proporcionando uma poupança anual de 35112,11 €. Assim o retorno médio esperado será de 2,37 anos.

Keywords

Energy efficiency; Rationalization of consumption; Ceramic industry

Abstract

The trend of increasing population growth and global energy consumption led to a greater awareness of the importance that energy resources represent for economic and social development of countries. Therefore, it was necessary to develop intervention plans to promote global sustainability. Energy efficiency began to appear as one of the possible solutions for all sectors. The ceramic industry is no exception, however there is still a large margin for improvement.

This project introduces a methodology for the analysis of power consumption reduction in a ceramic company, although it can be applied to all industry facilities.

The aim is to evaluate the possibility of replacing lighting, motors and compressors for more advanced technologies that reduce energy billing.

Protocols for collecting the necessary data, as well as for analysing the increase in energy efficiency are also defined within this work. Therefore an energy analyzer, a thermofgraphic camera, tachometer were used. Also the software Dialux and MATLAB were used to simulate the case studies in the firm.

It can be stated that if all the proposed changes are applied, it will be possible to reduce energy intensity and specific energy consumption by 0,74 %, by investing 83061,25 € that will provide an annual saving of 35112,11 €. Thus the expected average return is 2,37 years.

Índice

| | |
|--|-----|
| Índice de figuras | I |
| Índice de tabelas..... | III |
| Nomenclatura | IV |
| Lista de siglas..... | V |
| 1 Introdução | 1 |
| 1.1 Enquadramento | 2 |
| 1.2 Objetivo do estudo..... | 3 |
| 1.3 Contribuição do trabalho..... | 4 |
| 1.4 Estrutura da dissertação | 4 |
| 2 Panorama energético e tecnológico | 5 |
| 2.1 Panorama energético Europeu | 6 |
| 2.1.1 Políticas Europeias | 6 |
| 2.2 Panorama energético Português | 7 |
| 2.2.1 Políticas Portuguesas..... | 8 |
| 2.2.2 Indústria Cerâmica | 10 |
| 2.3 Evolução Tecnológica..... | 11 |
| 2.3.1 Iluminação..... | 11 |
| 2.3.2 Motores..... | 15 |
| 2.3.3 Compressores..... | 18 |
| 2.4 Aparelhos de medida..... | 23 |
| 3 Love Tiles..... | 25 |
| 3.1 Apresentação da empresa..... | 25 |
| 3.1.1 Confidencialidade..... | 25 |
| 3.2 Fluxograma produtivo | 25 |
| 3.2.1 Descrição do processo..... | 26 |
| 4 Análise dos casos de estudo | 29 |
| 4.1 Casos de estudo..... | 29 |
| 4.1.1 Iluminação..... | 29 |
| 4.1.2 Compressores..... | 36 |
| 4.1.3 Motores | 38 |
| 5 Discussão de resultados | 41 |
| 5.1 Iluminação | 41 |
| 5.1.1 Análise energética da iluminação | 41 |
| 5.1.2 Análise económica da iluminação | 50 |
| 5.2 Compressores | 51 |
| 5.3 Motores | 57 |

| | | |
|-------|-------------------------------------|----|
| 5.3.1 | Cálculo de carga média..... | 58 |
| 5.3.2 | Análise energética e económica..... | 61 |
| 6 | Conclusão | 75 |
| 6.1 | Considerações gerais | 75 |
| 6.2 | Trabalhos futuros..... | 76 |
| 7 | Bibliografia | 77 |
| 8 | Anexos | 81 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 - Crescimento da procura total de energia primária [2]..... | 1 |
| Figura 1.2 - Metodologia adotada para o trabalho..... | 3 |
| Figura 2.1 - Evolução do total de energia consumida pelos países pertencentes à OCDE e pelos países não pertencentes à OCDE [11]. | 5 |
| Figura 2.2 - Evolução do total de energia consumida por diferentes fontes energéticas [11]. | 5 |
| Figura 2.3 - Consumo de energia primária por fonte energética [14]..... | 7 |
| Figura 2.4 - Consumo de energia final por sector (2011) [14]. | 8 |
| Figura 2.5 - Produção cerâmica em Portugal (2010) [16]..... | 10 |
| Figura 2.6 - Evolução da eficácia dos diferentes tipos de lâmpadas. | 12 |
| Figura 2.7 - Aumento da eficiência com a redução do diâmetro das lâmpadas [20]..... | 13 |
| Figura 2.8 - Representação da lâmpada de sódio..... | 13 |
| Figura 2.9 – Iluminância [23]..... | 14 |
| Figura 2.10 - Eficiência das várias classes de motores (4 polos, 50 Hz) [25]. | 16 |
| Figura 2.11 - Perdas totais, eficiência e fator de potência em função da carga [26]. | 17 |
| Figura 2.12 - Triângulo retângulo de potência [30]..... | 18 |
| Figura 2.13 - Classificação dos compressores [34]. | 20 |
| Figura 2.14 – Compressor rotativo de parafuso [37]. | 21 |
| Figura 2.15 - Processos envolvidos no compressor rotativo de parafuso [38]. | 22 |
| Figura 2.16 - Funcionamento em cascata com controlos de set points. | 22 |
| Figura 2.17 – Potência em função das necessidades de ar com a existência de um compressor VEV numa instalação com multi-compressores [40]. | 23 |
| Figura 2.18 - Analisador de energia "Fluke 1735". | 24 |
| Figura 2.19 - Câmara termográfica "Fluke Ti10". | 24 |
| Figura 2.20 – Tacómetro "Peak Tech 2785"..... | 24 |
| Figura 3.1 - Fluxograma produtivo da empresa Love Tiles..... | 26 |
| Figura 4.1 - Segmentação de consumos energéticos em 2011..... | 29 |
| Figura 4.2 - Simulação para a zona 9 e 10 (armazém 2). | 35 |
| Figura 4.3 - Linhas isográficas para a zona 9 e para a zona 10 (armazém 2). | 35 |
| Figura 4.4 - Linhas isográficas para zona 10 (armazém 3) e zona 11. | 36 |
| Figura 4.5 - GA 90 kW. Potência ativa em função do tempo. | 37 |
| Figura 4.6 - GA 110 kW. Potência ativa em função do tempo. | 37 |
| Figura 4.7 - Motores presentes nos tanques de porosa. | 39 |
| Figura 4.8 - Motores presentes nos tanques de grés. | 39 |
| Figura 4.9 - Motores presentes nos tanques na zona do atomizador. | 40 |
| Figura 5.1 - Linhas isográficas para a zona 9 com alteração de luminárias. | 42 |
| Figura 5.2 - Linhas isográficas para a zona 10 (armazém 2) com alteração de luminárias. | 43 |
| Figura 5.3 – Linhas isográficas para a zona 10 – armazém 3 com alteração de luminárias. | 45 |
| Figura 5.4 - Linhas isográficas para a zona 11 com alteração de luminárias | 46 |
| Figura 5.5 - Distribuição do modo de funcionamento do compressor GA 90 kW..... | 52 |
| Figura 5.6 - Distribuição do modo de funcionamento do compressor GA 110 kW..... | 53 |
| Figura 5.7 - Ar comprimido produzido pelo compressor GA 90 kW. | 53 |
| Figura 5.8 - Ar comprimido produzido pelo compressor GA 110 kW. | 54 |
| Figura 5.9 - Controlo da produção de ar comprimido com um compressor VEV numa instalação com multi-compressores [40] | 55 |
| Figura 5.10 - Funcionamento teórico diário possível na empresa Love Tiles [40]. | 55 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.11 - Compressor VEV e um compressor em carga/alívio com a mesma potência nominal [40]. | 56 |
| Figura 5.12 - Relação entre potência, corrente, fator de potência e carga do motor [47]. | 61 |
| Figura 5.13 - Rendimento dos motores dos tanques de porosa em função da carga. | 65 |
| Figura 5.14 - Rendimento em função da carga total para várias potências nominais (valores teóricos) [51]. | 65 |
| Figura 5.15 - Rendimento dos motores dos tanques de grés em função da carga. | 70 |
| Figura 5.16 - Rendimento em função da carga total no tanque de porosa (atomizador). | 71 |
| Figura 5.17 - Rendimento em função da carga total no tanque de grés (atomizador). | 72 |
| Figura 8.1 - Motor ABR 1. | 84 |
| Figura 8.2 - Motor ABR 2. | 84 |
| Figura 8.3 - Motor ABR 3. | 84 |
| Figura 8.4 - Motor ABR 4. | 84 |
| Figura 8.5 - Motor ABR 5. | 84 |
| Figura 8.6 - Motor ABR 6. | 84 |
| Figura 8.7 - Motor ABR 7. | 84 |
| Figura 8.8 - Motor ABR 8. | 84 |
| Figura 8.9 - Motor ABR 9. | 85 |
| Figura 8.10 - Motor ABR 10. | 85 |
| Figura 8.11 - Motor ABR 12. | 85 |
| Figura 8.12 - Motor ABR 28. | 85 |
| Figura 8.13 - Motor ABR 19. | 85 |
| Figura 8.14 - Motor ABR 20. | 85 |
| Figura 8.15 - Motor ABR 27. | 85 |
| Figura 8.16 - Motor ABR 30. | 85 |
| Figura 8.17 - Motor ABR 23. | 86 |
| Figura 8.18 - Motor ABR 24. | 86 |
| Figura 8.19 - Motor ABR 26. | 86 |
| Figura 8.20 - Motor ABR 32. | 86 |
| Figura 8.21 - Motor ABR 15. | 86 |
| Figura 8.22 - Motor ABR 16. | 86 |
| Figura 8.23 - Motor ABR 13. | 86 |
| Figura 8.24 - Motor ABR 14. | 86 |

Índice de tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 2.1 - Aparência da luz em função da temperatura..... | 14 |
| Tabela 2.2 - Valores de iluminância e de índice de restituição de cor segundo a norma EN 12464-1. | 15 |
| Tabela 2.3 - Valores padrão para o programa Dialux..... | 15 |
| Tabela 4.1 - Descrição da divisão feita por zonas na empresa. | 30 |
| Tabela 4.2 - Luminárias presentes nas zonas 9, 10 e 11. | 32 |
| Tabela 4.3 - Luminárias presentes nas zonas 12,14, 15 e 17. | 33 |
| Tabela 4.4 - Indicadores para as diferentes zonas..... | 34 |
| Tabela 4.5 - Características dos compressores. | 36 |
| Tabela 4.6 - Características dos motores analisados..... | 38 |
| Tabela 5.1 - Tabela do fluxo luminoso de cada lâmpada. | 41 |
| Tabela 5.2 - Indicadores para a zona 9 inicial e para a zona 9 alterada. | 42 |
| Tabela 5.3 – Indicadores para a zona 10 (armazém 2) inicial e para a zona 10 (armazém 2) alterada. | 44 |
| Tabela 5.4 – Indicadores para a zona 10 (armazém 3) inicial e para a zona 10 (armazém 3) alterada. | 45 |
| Tabela 5.5 - Indicadores para a zona 11 inicial e para a zona 11 alterada..... | 46 |
| Tabela 5.6 - Indicadores para a zona 12 inicial e para a zona 12 alterada..... | 47 |
| Tabela 5.7 - Indicadores para a zona 14 inicial e para a zona 14 alterada..... | 48 |
| Tabela 5.8 - Indicadores para a zona 15 inicial e para a zona 15 alterada..... | 48 |
| Tabela 5.9 - Indicadores para a zona 17 inicial e para a zona 17 alterada..... | 49 |
| Tabela 5.10 - Indicadores para a zona 19 inicial e para a zona 19 alterada..... | 49 |
| Tabela 5.11 - Indicadores para a zona 21 inicial e para a zona 21 alterada..... | 50 |
| Tabela 5.12 - Informação de preços para o material necessário..... | 50 |
| Tabela 5.13 - Estudo económico por zonas. | 51 |
| Tabela 5.14 - Valores calculados para os compressores..... | 52 |
| Tabela 5.15 - Características do compressor de velocidade eletrónica variável..... | 56 |
| Tabela 5.16 - Valores obtidos através da medição com o tacómetro. | 58 |
| Tabela 5.17 - Valores para a carga média usando os três métodos..... | 59 |
| Tabela 5.18 - Orçamento disponibilizado pela WEG..... | 61 |
| Tabela 5.19 - Motores dos agitadores do tanque de porosa 1. | 62 |
| Tabela 5.20 - Motores dos agitadores do tanque de porosa 2. | 63 |
| Tabela 5.21 - Motores dos agitadores do tanque de porosa 3. | 64 |
| Tabela 5.22 - Motores dos agitadores do tanque de porosa 4. | 64 |
| Tabela 5.23 - Motores dos agitadores do tanque de grés 1. | 66 |
| Tabela 5.24 - Motores dos agitadores do tanque de grés 2. | 67 |
| Tabela 5.25 - Motores dos agitadores do tanque de grés 3. | 67 |
| Tabela 5.26 - Motores dos agitadores do tanque de grés 4. | 68 |
| Tabela 5.27 - Motores dos agitadores do tanque de grés 5. | 69 |
| Tabela 5.28 - Motores dos agitadores do tanque de grés 6. | 69 |
| Tabela 5.29 - Motores dos agitadores do tanque de porosa (atomizador)..... | 71 |
| Tabela 5.30 - Motores dos agitadores do tanque de grés (atomizador)..... | 72 |
| Tabela 5.31 - Sumário do tratamento de dados sobre os motores. | 73 |

Nomenclatura

η – Rendimento (%)

P_{medida} – Potência medida (W)

$P_{mecânica}$ – Potência mecânica (W)

P_{diss} – Potência dissipada (W)

C – Carga (%)

C_{av} – Consumo de energia anual em vazio (kWh/ano)

P_v – Potência média em vazio (kW)

T_v – Tempo em vazio (h)

P_{chapa} – Potência escrita na chapa de características do motor (kW)

FP – Fator de potência

E_{ativa} – Energia ativa (kWh)

$E_{reativa}$ – Energia reativa (kVAr)

P_e – Potência específica (kW)

P_l – Potência instalada (kW)

A – Área (m²)

\emptyset – Fluxo luminoso (lm)

E_m – Iluminância média (lux)

$C_{e_{medio}}$ – Consumo médio de energia (kWh/m².ano)

E_c – Consumo energético anual (kWh/ano)

S_s – Velocidade de rotação síncrona (rpm)

S_R – Velocidade de rotação contida na chapa de características do motor (rpm)

V – Tensão medida (V)

V_R – Tensão contida na chapa de características do motor (V)

f – Unidade de medida Hz (Hz)

N – Número de polos do motor

η_t – Rendimento escrito na chapa de características do motor (%)

I_R – Corrente escrita na chapa de características do motor (A)

Lista de siglas

GEE – Gases com efeito de estufa.

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética.

PREn – Plano de racionalização do consumo de energia.

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico.

UE – União Europeia.

CE – Comissão Europeia.

SGCIE – Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia.

IE – Intensidade Energética.

IC – Intensidade Carbónica.

PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis.

UV – Ultravioleta.

LED – *Light emitting diode*.

tep – toneladas equivalentes de petróleo.

Wh – Watt-hora.

lm – Lúmen.

ton – Toneladas.

kW – quiloWatt.

VEV – Variador Eletrónico de Velocidade.

VAB – Valor Acrescentado Bruto.

A – Amper.

V – Volt.

Hz – Hertz.

lx – Lux.

1 Introdução

A tendência de crescimento populacional a nível mundial é uma realidade que irá provocar um aumento do consumo energético primário. O petróleo é a fonte energética mais utilizada, contribuindo com cerca de 33,1 % do total de energia consumida globalmente [1]. Os combustíveis fósseis representam cerca de 82 % do *mix* energético mundial e prevê-se que este valor descerá para cerca de 75 % até 2035, figura 1.1 [2]. No entanto, este aumento de consumo irá agravar os problemas ambientais com os quais nos deparamos diariamente, sendo os principais o aquecimento global, a destruição da camada de ozono e a poluição atmosférica.

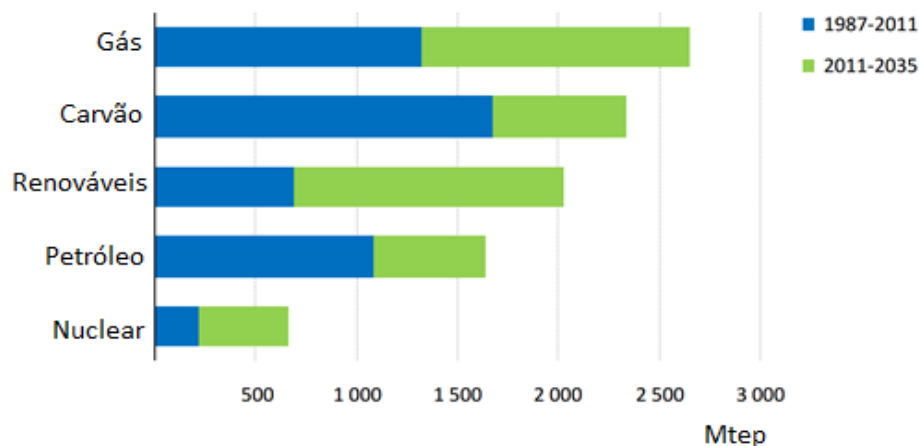


Figura 1.1 - Crescimento da procura total de energia primária [2].

De acordo com as previsões, também o preço destes combustíveis fósseis irá aumentar ao longo dos anos [3], provocando encargos elevados para os países, empresas e setor doméstico.

A solução para a diminuição destes problemas estará na interligação entre diversos factores:

- Eficiência energética
- Energias renováveis
- Avanços tecnológicos

É no seguimento da necessidade de diminuir o peso dos combustíveis fósseis na fatura energética que surgem diferentes programas a nível global. Para o caso da Europa, entre vários planos, existe o plano EU 20-20-20 que tem como objetivos a redução de 20 % de emissões de gases com efeito de estufa (GEE), 20 % da energia produzida deve ser

obtida através de energias renováveis e um aumento de 20 % da eficiência energética até 2020 [4]. Este plano contribuirá, positivamente, para um aumento da utilização eficiente da energia, reduzindo a procura energética sem provocar impactos negativos no crescimento dos países, visto que a energia é um requisito necessário para o desenvolvimento económico e social [5].

O trabalho aqui apresentado surge no sentido desta necessidade, utilizando os conceitos de sustentabilidade e eficiência energética aplicados a uma empresa cerâmica.

1.1 Enquadramento

A utilização eficiente dos recursos energéticos é essencial para a competitividade económica de um país. Seguindo as tendências europeias, Portugal tem o conceito de eficiência energética como uma das prioridades a ser aplicadas no país, empregando programas e legislação coerente tanto para diminuir o consumo energético como as emissões de GEE. Um dos programas criados pelo governo Português foi o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) que abrange os seguintes setores:

- Transportes
- Residencial e serviços
- Indústria
- Estado
- Agricultura

A recessão económica que atingiu Portugal veio alterar os padrões nacionais de consumo de energia primária e as expectativas de evolução até 2020. Os valores definidos para o PNAEE de 2008 foram, devido à recessão, atingidos. Criou-se então, um novo PNAEE 2016 que tem a mesma base de objetivos que o anterior, no entanto é mais ambicioso uma vez que pretende uma diminuição de 25 % no consumo de energia primária, sendo necessário para isso, uma diminuição adicional de 1,27 a 1,7 Mtep [6].

A indústria é um dos principais consumidores de energia final em Portugal, que em 2012, era aproximadamente 32,5 % do consumo total [7]. A indústria cerâmica representa 1,7 % do volume de negócios da indústria transformadora portuguesa [8].

A indústria cerâmica é um setor onde existe um consumo intensivo de energia caracterizado pelo elevado consumo de gás natural. Genericamente, este consumo divide-se em 70 % de gás natural e em 30 % de eletricidade [9]. Devido ao elevado consumo energético associado a todo o processo é importante, se possível, aplicar medidas de

racionalização de energia, de forma a reduzir os consumos energéticos e as emissões de GEE (CO₂, NO_x e SO₂) associados principalmente à queima de gás natural nos fornos.

1.2 Objetivo do estudo

Com a introdução de novas tecnologias no mercado é possível melhorar a situação das empresas portuguesas diminuindo o seu consumo energético e aumentando a sua competitividade.

Este trabalho consiste na análise energética de vários elementos inerentes ao processo produtivo. Com base na leitura e na análise de medições, espera-se desenvolver e aplicar uma metodologia que será transversal a toda a indústria cerâmica, figura 1.2.

Serão analisadas diferentes medidas que possivelmente poderão ser aplicadas aos elementos presentes ao longo do processo produtivo de forma a reduzir os gastos energéticos sem interferir no processo.

Posteriormente serão determinadas quais as melhores soluções para cada componente estudado.



Figura 1.2 - Metodologia adotada para o trabalho.

1.3 Contribuição do trabalho

A principal contribuição do presente trabalho consiste na compilação de literatura relacionada com eficiência energética e de novas tecnologias que possam ser aplicadas na indústria cerâmica. A metodologia apresentada poderá ser aplicada a outras empresas cerâmicas que procurem soluções de eficiência energética para a diminuição da sua fatura energética. Este trabalho apresenta os resultados do estudo para a redução dos custos energéticos que foi feito à empresa Gres Panaria Portugal S.A. divisão Love Tiles.

Desde 2011, a empresa Love Tiles encontra-se inserida no programa Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE). No âmbito deste programa foi elaborada uma auditoria energética na qual todas as medidas com retorno de investimento inferior a 5 anos foram aplicadas. Destacando-se as seguintes medidas:

- Nos fornos, foi instalado um sistema que faz a recuperação do ar de arrefecimento final e insere-o de volta no forno como ar de combustão;
- Foi instalado um sistema automático para paragem das bombas hidráulicas das prensas em *standby*;
- Foi instalado um variador de velocidade no ventilador de exaustão de gases no atomizador.

Estas medidas provocaram uma diminuição substancial no consumo energético da empresa.

1.4 Estrutura da dissertação

Inicialmente, no capítulo 2, é apresentado o panorama energético europeu e português e, as medidas que estão a ser implementadas para atingir os objetivos propostos. Posteriormente, são apresentadas noções sobre as tecnologias presentes na empresa com o objetivo de comparação posterior com as medidas propostas.

No capítulo 3 apresenta-se a empresa, bem como todo o seu processo produtivo.

No capítulo 4 são apresentados os casos de estudo, onde a descrição feita dos mesmos servirá de base para análise comparativa com as medidas propostas.

No capítulo 5 são comparados os valores energéticos iniciais de cada caso de estudo e comparados com os valores das medidas adicionais propostas, obtendo-se assim as reduções energéticas possíveis.

2 Panorama energético e tecnológico

A nível global, o crescimento do consumo energético é cada vez maior, devido não só ao crescimento demográfico mas também às novas economias emergentes, China e Índia, figura 2.1. Prevê-se que até 2035 existirá um aumento do consumo total de energia de 41 %, em que a China e a Índia serão responsáveis por 50 % deste aumento. Em 2035, 72 % das emissões de GEE serão provocados pelos países não pertencentes a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), e prevê-se um aumento de 29 % do total de emissões de carbono [10].

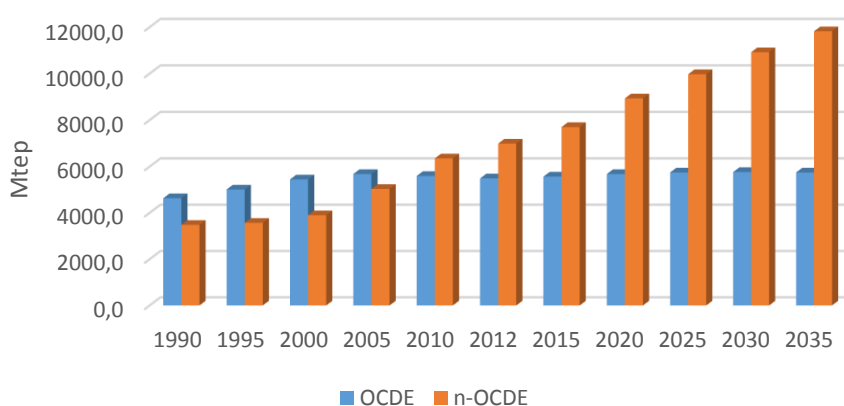


Figura 2.1 - Evolução do total de energia consumida pelos países pertencentes à OCDE e pelos países não pertencentes à OCDE [11].

Apesar de, até 2035 a energia produzida por fontes renováveis aumentar, também irá aumentar, em menor valor, a energia produzida por combustíveis fósseis, figura 2.2 [10].

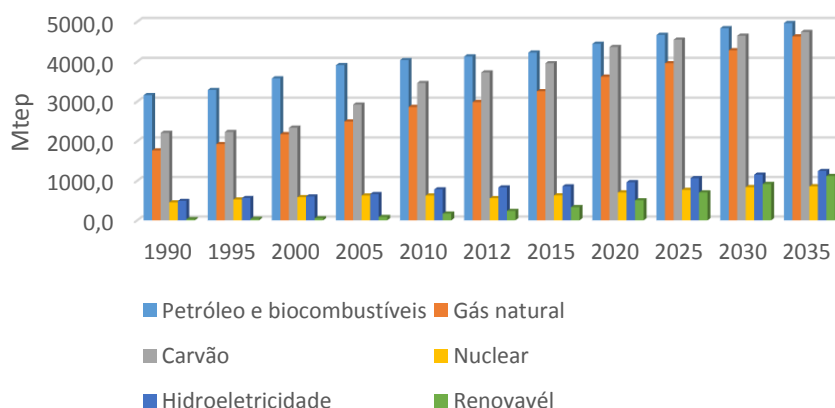


Figura 2.2 - Evolução do total de energia consumida por diferentes fontes energéticas [11].

2.1 Panorama energético Europeu

A nível Europeu os valores seguem a tendência global, isto é, maior crescimento demográfico e maior consumo energético. Em 2011 o *mix* energético nos EU-27 era composto por 76 % de combustíveis fósseis, sendo este um grave problema, visto que o preço do petróleo, do carvão e do gás natural apresentam uma tendência crescente [3]. Os grandes fornecedores de combustíveis fósseis são, normalmente, países com grande instabilidade política o que provoca uma grande oscilação quer no fornecimento quer nos preços dos mesmos. A Europa importa 53,8 % da sua energia, diminuindo assim a sua competitividade e soberania, para tal, a Europa tem vários planos a decorrer de forma a reduzir estes custos de importação que passam pelo incentivo à utilização de energias renováveis, eficiência energética e redução dos GEE.

2.1.1 Políticas Europeias

Os líderes da União Europeia (UE), em Março de 2007, aprovaram uma abordagem integrada da política climática e energética que visa combater as alterações climáticas e aumentar a segurança energética europeia. Assim, estabeleceram-se os objetivos conhecidos como “20-20-20”, que visam as seguintes medidas até 2020:

- A redução das emissões de GEE da UE, pelo menos 20 % abaixo dos níveis de 1990;
- Promover as fontes renováveis para que 20 % do consumo energético da UE seja proveniente destas;
- Promover a eficiência energética para se obter uma redução de 20 % no consumo de energia primária;

Este plano de ação inclui medidas que visam melhorar o rendimento energético dos principais setores económicos, facilitando o financiamento e a realização de investimentos por forma a consolidar a ação internacional na matéria de eficiência energética.

A 8 de Março de 2006 foi lançado o Livro Verde “Estratégia europeia para uma energia sustentável, competitiva e segura”, no qual foram lançados os grandes desafios que a Europa tem pela frente de forma a atingir os seus objetivos económicos, sociais e ambientais. Os principais desafios que a Europa enfrenta são a dependência crescente das importações, a instabilidade do preço dos combustíveis, as alterações climáticas e o aumento da procura da energia. Assim, o plano de ação passará por melhorar a eficácia da rede energética europeia através da realização do mercado interno de energia,

promover a segurança do aprovisionamento, diversificar o *mix* energético de forma a torná-lo mais sustentável e eficiente e, promover a investigação e inovação na área da energia.

Em Dezembro de 2011, a Comissão Europeia (CE) lançou o *Energy Roadmap 2050*, no qual são analisados os caminhos para alcançar uma economia de baixa emissão de carbono na Europa, estando em linha com a segurança energética, com o ambiente e com o desenvolvimento económico. Até 2050, a Europa compromete-se a diminuir em cerca de 80 % as emissões de carbono em relação aos níveis verificados em 1990. Este documento afirma que a mudança do *mix* energético será essencial para obter os valores propostos, em que a produção energética se dividirá em 50 % a partir de energias renováveis, 34 % de combustíveis fósseis e 16 % de energia nuclear [12].

2.2 Panorama energético Português

O panorama Português é um pouco idêntico ao Europeu, muito dependente de combustíveis fósseis (cerca de 75 %) e da importação dos mesmos, que entre 2000 e 2012 representou um valor que rondou os 80 % [13]. Para o consumo de energia primária constata-se que o petróleo e derivados têm sido a fonte energética mais utilizada ao longo dos anos, aproximadamente 50 %, seguindo-se do gás natural com 18,8 %, o carvão com aproximadamente 13,6 %, a biomassa com 13,4 % e a energia elétrica com 10,2 %, como se pode observar na figura 2.3 [14].

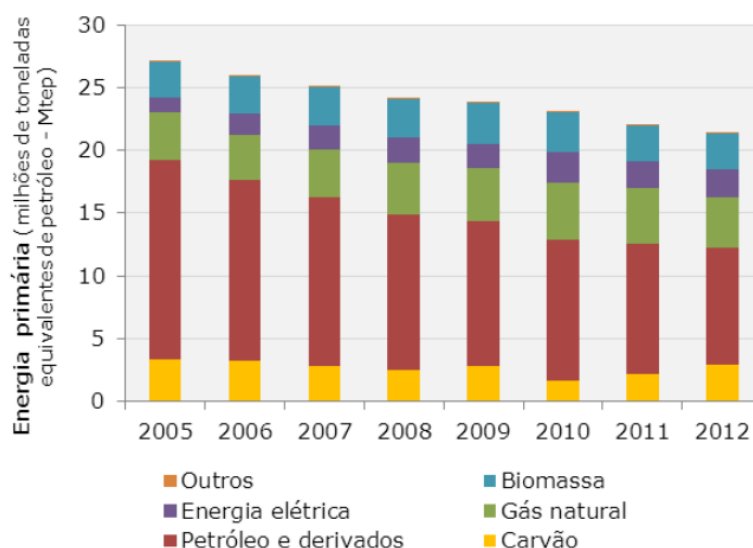


Figura 2.3 - Consumo de energia primária por fonte energética [14].

Em 2011 constatou-se que existe uma forte incidência de consumo de energia final nos setores dos transportes e da indústria, representando cerca de 70 %, o setor doméstico representa 16,6 %, os serviços 11,3 % e a agricultura e pescas 2,6 % (figura 2.4).

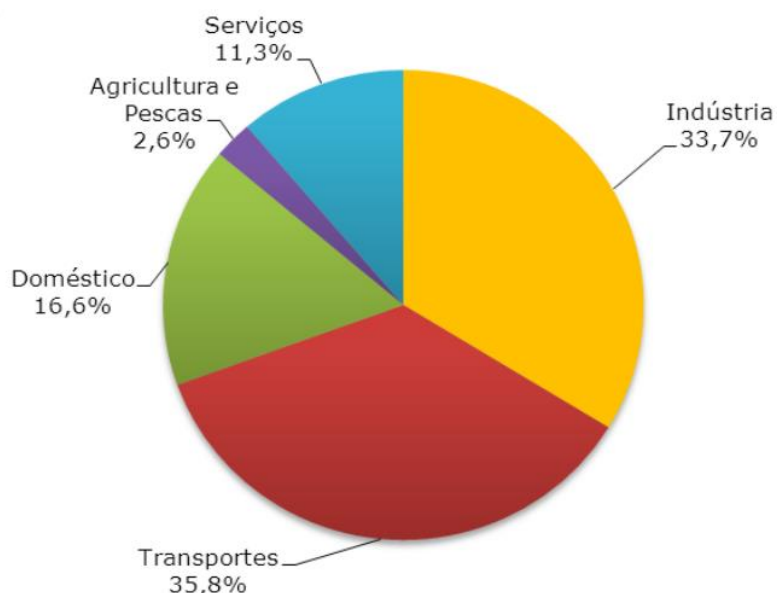


Figura 2.4 - Consumo de energia final por sector (2011) [14].

Em semelhança com a CE, Portugal criou programas que visam a diminuição da fatura energética e da dependência energética:

- PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética;
- PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis;
- ECO.AP – Eficiência Energética na Administração Pública.

2.2.1 Políticas Portuguesas

Face às perspetivas do aumento do preço da energia, do consumo e emissões de GEE, o governo Português possui várias diretivas para o futuro.

Até 2015, o PNAEE é um plano orientado para a gestão da procura energética que abrange quatro áreas específicas:

- Transportes;
- Residencial e Serviços;
- Indústria;
- Estado.

Para o caso da indústria, esta é abrangida pelo programa Sistema de Eficiência Energética na Indústria composto pelo regulamento denominado por SGCIE. Este programa obriga as empresas com consumos de energia superiores a 500 tep/ano a fazerem auditorias energéticas, onde será incluído um Plano de Racionalização do Consumo de Energia (PREn) de cumprimento obrigatório [15].

- Empresas com consumo energético entre 500 e 1000 tep/ano devem:
 - Implementar todas as medidas identificadas com *payback* inferior a 3 anos;
 - Diminuir 4 % em 8 anos o indicador de intensidade energética (IE);
 - No mínimo manter os valores históricos de intensidade carbónica (IC).
- Empresas com consumo energético maior que 1000 tep/ano devem:
 - Implementar todas as medidas identificadas com *payback* inferior a 5 anos;
 - Diminuir 6 % em 6 anos o indicador de intensidade energética (IE);
 - No mínimo manter os valores históricos de intensidade carbónica (IC).
- Empresas com consumo energético inferior a 500 tep/ano poderão aderir voluntariamente ao SGCIE.

Os indicadores podem ser calculados pelas seguintes relações:

- Intensidade energética

$$IE = \frac{\text{Consumo total de energia (tep)}}{\text{Valor acrescentado bruto (€)}} \quad (2.1)$$

- Intensidade carbónica

$$IC = \frac{\text{Emissões de GEE (ton CO}_2\text{e)}}{\text{Consumo total de energia (tep)}} \quad (2.2)$$

Com este programa pretende-se reduzir 10 % da intensidade energética da indústria até 2020 por via da eficiência energética.

Em 2013 foi aprovado o PNAER 2020 que fixa a meta de 31 % para a quota que as energias renováveis irão ter no consumo final bruto de energia em Portugal. Como objetivos principais, e de acordo com o ano de referência de 2005, prevê-se atingir uma quota de 10 % de energia renovável no setor dos transportes, 30,6 % no setor de aquecimento e arrefecimento e 60 % na produção eletricidade [6].

O SGCIE aplica-se praticamente a todas as empresas do setor cerâmico, visto que estas consomem mais de 1000 tep/ano, a fatura energética nestas empresas ascende a cerca de 30 % da faturação total [8], valor que representa um peso significativo para estas empresas. Assim, é essencial para a competitividade destas empresas a redução do consumo energético através da melhoria da eficiência energética.

2.2.2 Indústria Cerâmica

Em 2010, a produção cerâmica dividia-se em 41,2 % para o subsector da fabricação de azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas, seguido de 24,9 % para o subsector de fabricação de artigos cerâmicos para uso doméstico e cerca de 15,5 % para os subsectores de fabricação de tijolos, telhas e produtos para construção e para a fabricação de artigos cerâmicos para uso sanitário, figura 2.5 [8].

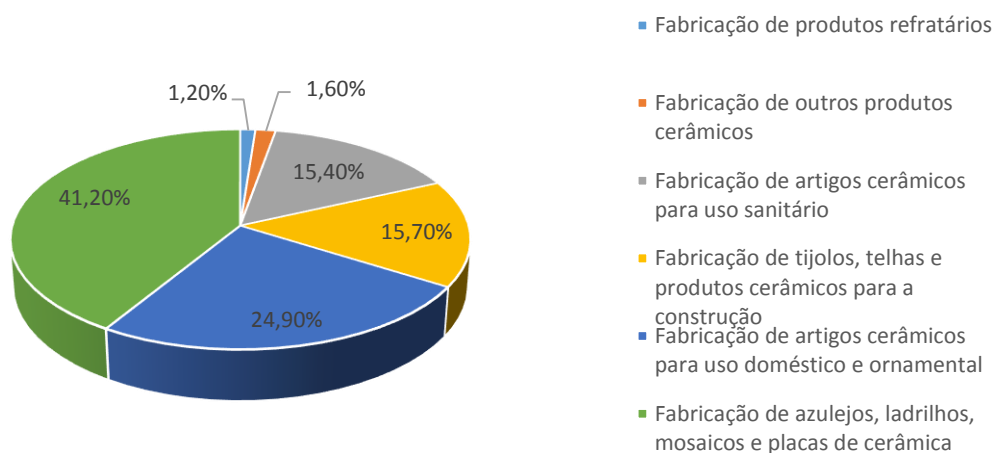


Figura 2.5 - Produção cerâmica em Portugal (2010) [16].

Para ajudar as empresas a diminuírem o seu consumo energético existem medidas que são transversais a todo o setor industrial, entre as quais se podem destacar quatro áreas [17]:

- Sistemas acionados por motores elétricos
 - Otimização de motores, sistemas de bombagem, de ventilação, de compressão;
- Produção de calor e frio
 - Cogeração, sistemas de combustão, recuperação de calor e frio industrial;

- Iluminação;
- Eficiência do processo industrial
 - Monitorização e controlo, integração de processos, isolamentos térmicos, redução de energia reativa, formação e sensibilização de recursos humanos.

Para a indústria cerâmica, onde este trabalho se insere, existem medidas mais específicas, focalizadas na parte térmica do processo industrial, por exemplo:

- Otimização de fornos e de secadores
 - Melhorias na conceção e no funcionamento de fornos e secadores;
 - Recuperação de calor em fornos;
- Otimização de produção de pó para prensagem;
- Utilização de combustíveis alternativos.

2.3 Evolução Tecnológica

Os objetivos definidos pela CE estão, também, dependentes da evolução tecnológica que se prevê que possa acontecer. A evolução tecnológica permitiu ao longo dos anos a redução de consumo energético, por exemplo, no caso da iluminação conseguiu-se melhorar a iluminância das lâmpadas, produzindo-se lâmpadas de baixo consumo com maior produção de lúmens, melhoraram-se os refletores das luminárias e desenvolveram-se os LEDs. Para os motores, ao longo dos anos foi possível melhorar a sua eficiência diminuindo-se as perdas associadas passando de IE1 até IE4. Os compressores, visto serem grandes consumidores de energia, também sofreram alterações. Foram desenvolvidos compressores com variador eletrónico de velocidade (VEV) de forma a diminuir a necessidade de produção de energia em vazio, isto é, quando não existe necessidade de ar comprimido.

2.3.1 Iluminação

As fontes de luz artificial desempenham um papel indispensável na vida diária do ser humano, representando cerca de 20 % de eletricidade consumida globalmente, o que na indústria representa cerca de 10 % do consumo de energia elétrica. A tendência para 2030 é que este valor suba para quase o dobro do valor do consumo verificado em 1995 [18]. O aumento da consciência global da proteção do ambiente e da conservação de energia provocou o surgimento de soluções de iluminação com maior eficiência energética.

Após 120 anos da invenção da lâmpada incandescente e apesar do seu baixo rendimento, é o tipo de lâmpada mais utilizada pelo setor doméstico, no entanto, estas produzem apenas 12 lm/W. Assim, surgiram novos desenvolvimentos que aumentaram a iluminância das lâmpadas, figura 2.6 [18].

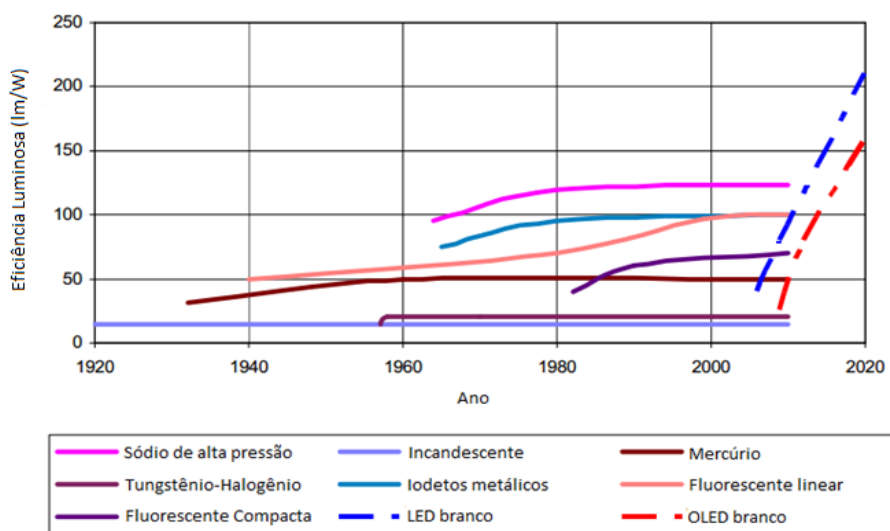


Figura 2.6 - Evolução da eficácia dos diferentes tipos de lâmpadas.

Existem vários tipos de lâmpadas com princípios de funcionamento diferentes, podemos assim dividi-las nas seguintes categorias:

- Incandescência
 - Halogêneas
 - Incandescentes
- Descarga
 - Baixa pressão
 - Alta pressão
- LED

Serão apenas analisadas as que estão presentes na empresa, ou seja, lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de sódio alta pressão e iodetos metálicos.

Lâmpada fluorescente

A lâmpada fluorescente é uma lâmpada de descarga de gás de mercúrio de baixa pressão, em que a superfície interior do tubo está revestida com uma mistura de compostos fluorescentes que convertem a radiação UV emitida em radiação visível. As lâmpadas fluorescentes tubulares dividem-se em T12, T8 e T5. A tecnologia T5 é uma evolução da

tecnologia T8 pelo facto de que a temperatura máxima atingida ser 35 °C ao contrário das T8 que é de 25 °C. Se considerarmos que estas usam refletores, podemos ver na figura 2.7 que a tecnologia T5 permite um melhor aproveitamento do fluxo luminoso [19].

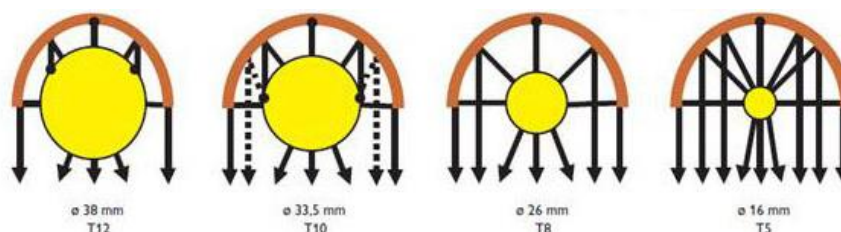


Figura 2.7 - Aumento da eficiência com a redução do diâmetro das lâmpadas [20].

Lâmpada de sódio alta pressão

Este tipo de lâmpadas, figura 2.8, é constituído, essencialmente, por dois elétrodo inseridos num tubo de descarga de óxido de alumínio sintetizado. Dentro do tubo de descarga existe sódio, mercúrio e também xénon, em menor quantidade, para facilitar o arranque. O tubo de descarga é normalmente inserido dentro de uma ampola de vidro em vácuo, que forma o invólucro exterior da lâmpada. A luz produzida por este tipo de lâmpadas é uma luz monocromática amarela [19].

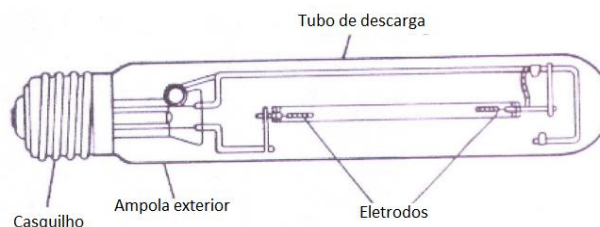


Figura 2.8 - Representação da lâmpada de sódio.

Lâmpada de iodetos metálicos

A lâmpada de iodetos metálicos é o aperfeiçoamento da lâmpada de vapor de mercúrio. As principais diferenças são a presença de iodetos metálicos, o seu desempenho e a possibilidade de variar a cor emitida consoante os iodetos metálicos colocados no interior do tubo de descarga. Esta lâmpada conta com um revestimento em alumina nas extremidades do tubo de descarga, que tem como objetivo refletir o calor produzido para os elétrodo impedindo assim, a condensação dos iodetos no interior do tubo.

Com base no objetivo da CE de reduzir 20 % do consumo de energia primária, esta impôs restrições de forma a retirar do mercado as lâmpadas incandescentes até 2012, as lâmpadas de halogéneo (com filamento de xénon) de classe C irão permanecer no

mercado até 2016 [21]. Desta forma será possível obter uma poupança a nível global de 40 %, cerca de 1,7 TWh/ano, reduzindo-se as emissões de CO₂ em 630 Mton [22]. Com o desenvolvimento esperado dos LEDs esta poupança poderá vir a ser superior.

A iluminação artificial tem por base três conceitos:

- Iluminância, figura 2.9, que representa quantidade total de luz emitida por uma fonte (lúmens) que incide sobre uma superfície, situada a uma certa distância da fonte luminosa. A unidade de medida é o lux (lx) ou lm/m².



Figura 2.9 – Iluminância [23].

- Índice de restituição de cor (IRC), que mede a fiabilidade com que uma fonte de luz artificial reproduz a cor de uma determinada superfície a iluminar. Quanto maior for o valor do IRC melhor será a qualidade da restituição da cor.
- Temperatura da cor produzida. As fontes de luz podem emitir luz “quente” e “fria” dependendo da temperatura da cor, normalmente expressa em kelvin (K), isto é, as cores “quentes” possuem uma aparência mais avermelhada ou amarelada, as cores “frias” são azuladas, tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Aparência da luz em função da temperatura.

| Temperatura (K) | Aparência |
|-------------------|----------------------------------|
| $T > 5000$ | Fria (branco – azulado) |
| $3300 < T < 5000$ | Intermédia (branco) |
| $T < 3300$ | Quente (amarelado – avermelhado) |

Com base nestes três conceitos foi criada a norma europeia EN 12464-1, na qual estão especificados os requisitos dos sistemas de iluminação de interiores [24].

Os valores médios recomendados por esta norma para as áreas interiores estão representados na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Valores de iluminância e de índice de restituição de cor segundo a norma EN 12464-1.

| Interior | Iluminância (lx) | IRC |
|------------|------------------|-----|
| Pavilhão | 150 | 60 |
| Escritório | 500 | 80 |

Tendo em conta a norma estabelecida pela UE, a empresa enquadra-se nos valores médios recomendados.

Existem vários *software* de iluminação, por exemplo, Indalwin, Calculux, Dialux, que permitem fazer diversas simulações de edifícios e de iluminação, podendo depois comparar os níveis de iluminação existentes com as possíveis mudanças efetuadas na iluminação. O *software* Dialux foi utilizado para as simulações apresentadas posteriormente. Neste *software* é necessário, inicialmente, especificar os graus de reflexão do edifício. Na tabela 2.3, podemos ver os valores padrão para cada situação.

Tabela 2.3 - Valores padrão para o programa Dialux.

| | Branco | Claro | Médio | Escuro |
|--------|--------|-------|-------|--------|
| Teto | 80 % | 70 % | 50 % | 30 % |
| Parede | | 50 % | 30 % | 10 % |
| Piso | | | 30 % | 10 % |

2.3.2 Motores

O consumo dos motores ascende a 43 % do consumo total de energia elétrica global, no setor industrial este consumo representa 69 % do consumo total de eletricidade de uma empresa. Presume-se que com a substituição destes motores existentes menos eficientes (IE1 ou IE0) por motores com maior eficiência poderá obter-se uma poupança de 20-30 % [25]. Com os avanços tecnológicos foi possível aumentar a eficiência dos motores elétricos reduzindo as perdas por dissipação de calor dos vários componentes do motor [26], e assim foram aparecendo no mercado os motores IE2, IE3 e IE4. Na figura 2.10 podem-se observar as variações de eficiência para cada classe de motor com 4 pólos e com funcionamento a 50 Hz [25]. A Diretiva 2005/32/CE define os requisitos mínimos de construção eficiente para os motores, obrigando os fabricantes a lançarem os seus produtos com valores mínimos de eficiência para os seus motores IE2 e IE3 [27].

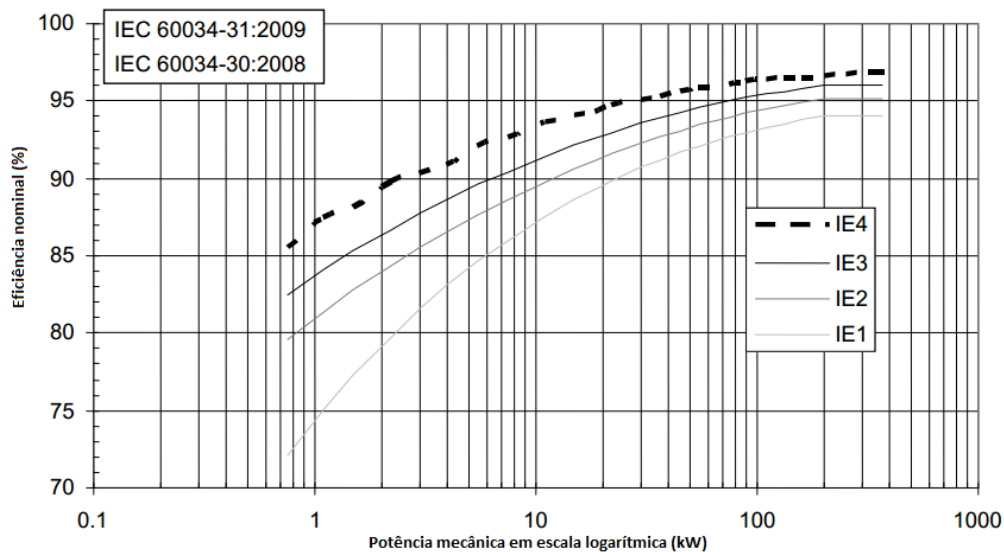


Figura 2.10 - Eficiência das várias classes de motores (4 polos, 50 Hz) [25].

Os motores estudados neste trabalho são motores de indução, isto é, motores que operam a partir de uma fonte de alimentação de corrente alternada. À semelhança de outros motores elétricos, estes têm normalmente uma parte fixa, estator, e um rotor que gira com um entreferro que está entre ambas as partes. Os motores em gaiola de esquilo são os mais comuns na indústria [28].

O motor de indução é um motor que baseia o seu princípio de funcionamento na criação de um campo magnético girante. Quando se aplica uma tensão alternada no estator, é produzido um campo magnético girante que atravessa os condutores do rotor. Este campo magnético variável induz no rotor uma força eletromotriz, esta cria o seu próprio campo magnético. Este campo magnético criado pelo rotor, ao tender a acompanhar o campo girante do estator, produz o movimento de rotação no rotor. Como a velocidade do rotor é sempre menor que a do campo girante, o motor é chamado de assíncrono e a diferença percentual entre a velocidade do campo e do rotor é chamada de escorregamento [29]. A velocidade síncrona depende da frequência da fonte de alimentação e do número de pólos do motor [28].

As vantagens deste tipo de tecnologia em relação às existentes, é o seu custo relativamente baixo, a sua construção simples, elevada fiabilidade e uma eficiência média-alta.

A eficiência do motor pode ser calculada, a partir do quociente da potência elétrica consumida da rede, P_{medida} , e da potência mecânica produzida pelo motor, $P_{mecânica}$, através da equação (2.3).

$$\eta = \frac{P_{mecânica}}{P_{medida}} * 100 (\%) \quad (2.3)$$

A equação (2.4) permite calcular o valor das perdas que estão associadas ao motor. Este valor aumenta com o aumento da carga a que o motor está sujeito, figura 2.11, degradando assim a eficiência do motor.

$$P_{diss} = P_{medida} - P_{mecânica} (kW) \quad (2.4)$$

A eficiência, além das perdas por dissipação de calor, varia também com a carga a que o motor está sujeito, equação (2.5), com a temperatura ambiente, altitude, manutenção, como se pode ver na figura 2.11.

$$C = \frac{P_{mecânica}}{P_{chapa}} \quad (2.5)$$

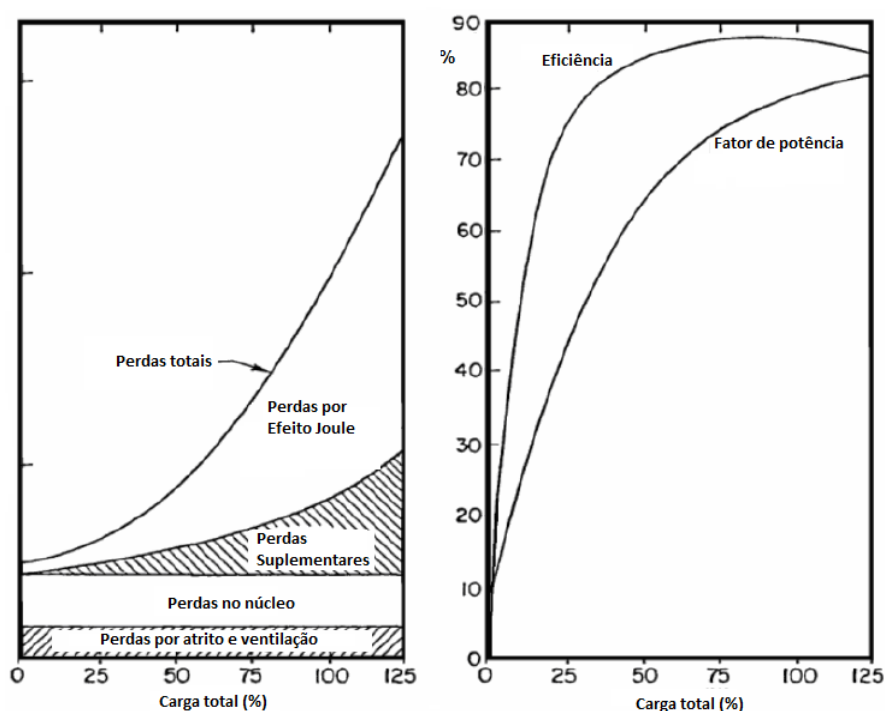


Figura 2.11 - Perdas totais, eficiência e fator de potência em função da carga [26].

O fator de potência, equação (2.6), é também uma condicionante da eficiência que um motor apresenta. Um sistema com uma determinada carga e com um fator de potência baixo extrai mais corrente à rede do que uma carga com um fator de potência mais elevado para a mesma quantidade de potência mecânica. Correntes mais elevadas tendem a proporcionar maiores perdas nos sistemas de distribuição. Numa tentativa de reduzir este problema as empresas fornecedoras de energia elétrica cobram às empresas estes baixos

valores de fator de potência através da energia reativa, que é a energia utilizada para criar e manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas [30].

$$FP = \frac{E_{ativa}}{\sqrt{E_{ativa}^2 + E_{reativa}^2}} \quad (2.6)$$

Um triângulo retângulo é, frequentemente, utilizado para representar as relações entre potência ativa, potência reativa e potência aparente, figura 2.12.

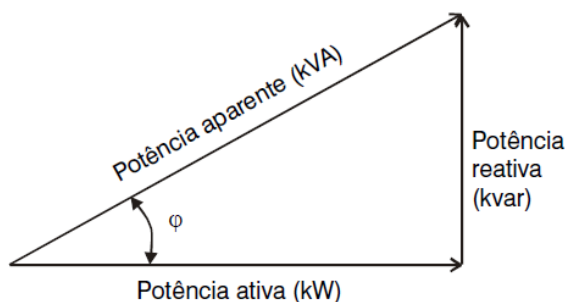


Figura 2.12 - Triângulo retângulo de potência [30].

A carga ideal de funcionamento de um motor é próxima de 80 % da carga total, permitindo ao motor ter a longevidade para o qual é projetado.

Existem, assim, várias análises que se podem fazer a um motor de forma a perceber se este está adequado ao processo ou se possui algum dano, onde é possível estudar todos os pontos anteriormente referidos. Para fazer as análises aos motores, podem ser utilizados os seguintes instrumentos:

- Analisador de energia
- Analisador de vibrações
- Termografia
- Conta rotações (tacómetro)

2.3.3 Compressores

Os compressores de ar são utilizados em praticamente toda a indústria e são tão vitais que algumas empresas não conseguem operar sem um compressor de ar. Na maior parte das instalações industriais os compressores de ar utilizam uma parte significativa de eletricidade, por isso é essencial que estes estejam totalmente otimizados para as necessidades de cada empresa. É possível obter-se, através da melhoria dos sistemas de ar comprimido, cerca de 20 a 50 % de poupança em termos energéticos. Um sistema de

ar comprimido bem gerido pode economizar energia, reduzir a necessidade de manutenção, diminuir o tempo de trabalho em vazio, aumentar o rendimento da produção e melhorar a qualidade do produto final [31].

Na UE os compressores de ar são responsáveis por 10 % do consumo de energia elétrica no setor industrial [32].

Tendo em conta que o ar é um recurso disponível gratuitamente, na utilização de compressores de ar apenas existe a preocupação de haver perdas de pressão ou de ar a interferir com o processo produtivo, apesar de tentativas de sensibilização para uma utilização mais eficiente dos mesmos. Existem várias medidas simples que possuem um *payback* relativamente baixo que podem ser tomadas [31]:

- Diminuição da temperatura do ar de entrada no compressor;
- Diminuição dos *set points* de pressão (adequando à necessidade do processo produtivo);
- Reparação de fugas de ar;
- Recuperação do calor produzido por dissipação no compressor;
- Troca para novos compressores com variador eletrónico de velocidade.

Os compressores são compostos por vários componentes cada um com funcionalidades importantes [33]:

- 1) Compressor é um componente mecânico que aspira o ar à temperatura ambiente e aumenta-lhe a pressão;
- 2) Motor, fornece energia ao compressor;
- 3) Controladores que regulam a quantidade de ar comprimido que está a ser produzido;
- 4) Equipamento de tratamento que serve para remover os contaminantes do ar comprimido;
- 5) Rede de distribuição que transporta o ar comprimido para as zonas do processo produtivo onde este é necessário;
- 6) Tanque de armazenamento, onde é armazenado o ar comprimido.

O funcionamento de um compressor de ar pode ser explicado da seguinte forma. O trabalho fornecido a um compressor é utilizado no aumento da pressão do gás, no aumento da temperatura do gás e no calor que é dissipado pelo compressor. Na maior parte dos casos, o que se pretende é aumentar a pressão do gás, utilizando o mínimo de energia possível.

A classificação dos compressores existentes encontra-se representada na figura 2.13.

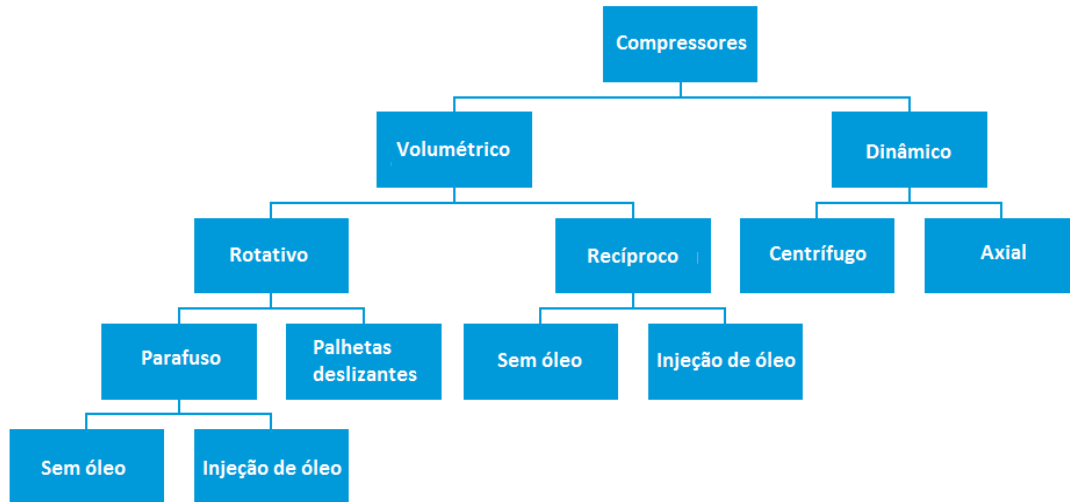


Figura 2.13 - Classificação dos compressores [34].

Existem dois tipos de compressores:

- 1) Deslocamento-positivo ou volumétricos, onde uma dada quantidade de ar ou gás é admitida para uma câmara de compressão e o volume que ocupa irá diminuindo mecanicamente, causando um aumento da pressão do gás antes da descarga. O fluxo de ar permanece praticamente constante sofrendo apenas variações na pressão de descarga.
- 2) Dinâmico, a compressão dá-se pela ação de um rotor ou outros meios que aceleram o ar, aumentando a sua pressão através da massa de ar. Devido à aceleração do ar, este atinge velocidades elevadas e quando o ar é retardado pelos difusores ocorre um aumento de pressão [35].

Os compressores de deslocamento-positivo são mais adequados para pressões elevadas e para pequenos volumes, enquanto que os compressores dinâmicos são mais aconselhados para menores pressões e volumes elevados [36].

2.3.3.1 Compressor rotativo de parafuso

Nesta secção irá ser apenas apresentado o compressor rotativo de parafuso, visto este ser o único presente na empresa onde o estudo foi feito. A imagem representativa deste tipo de compressor pode ser vista na figura 2.14.



Figura 2.14 – Compressor rotativo de parafuso [37].

O princípio de funcionamento deste compressor consiste em três processos, aspiração, compressão e emissão. Na figura 2.15, pode-se observar a aspiração (1) isto é, quando os rotores giram, os espaços entre os lóbulos abrem-se e aumentam de volume. O gás é aspirado para preencher estes espaços, quando estes alcançam o volume máximo, a entrada fecha. Posteriormente os lóbulos dos rotores começam a encaixar-se (macho e fêmea), e os gases provenientes de cada rotor são unidos numa cunha em “V”, de seguida em função da rotação do compressor, inicia-se a redução do volume presente na cunha, ocorrendo a compressão do gás (2) e (3). O processo é finalizado quando o espaço antes ocupado pelo gás expelido pela abertura passa a ser ocupado pelo rotor macho (4).

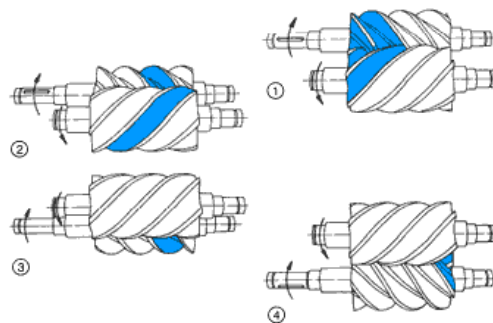


Figura 2.15 - Processos envolvidos no compressor rotativo de parafuso [38].

Os compressores existentes na empresa trabalham em modo carga/alívio, isto é, quando a pressão máxima definida é atingida, o compressor entra em repouso, não realizando compressão de ar, porém este continua em funcionamento durante algum tempo. Este consumo em vazio pode ascender aos 35 % do consumo do compressor em carga total [39][40].

Na empresa existem três compressores que funcionam em “cascata”, figura 2.16, isto é, sempre que o compressor *master* não consegue fornecer à rede as necessidades existentes, outro compressor, *slave*, liga e compensa esta necessidade, no entanto, isto faz com que os compressores que compensam estejam grande parte do tempo em vazio, isto é, consumindo eletricidade sem produção de ar comprimido.

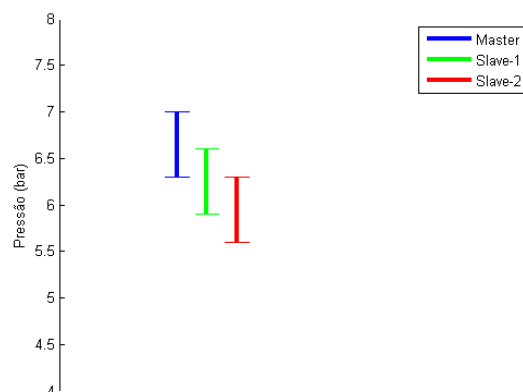


Figura 2.16 - Funcionamento em cascata com controlos de set points.

Para colmatar esta falha foram desenvolvidos compressores VEV. Esta nova tecnologia permite que quando as necessidades de ar são abaixo do que um compressor de velocidade “fixa” debita, o compressor VEV irá debitar o caudal necessário consumindo menos energia, figura 2.17, logo, caso isto aconteça, o compressor VEV entra em funcionamento primeiro. Se as necessidades excederem 80% da potência do compressor

VEV, este desliga, e o compressor de velocidade “fixa” começa a trabalhar debitando sempre um caudal fixo para a rede, caso existam maiores necessidades do que o compressor de velocidade fixa está a produzir, o compressor VEV entra em funcionamento, e assim sucessivamente.

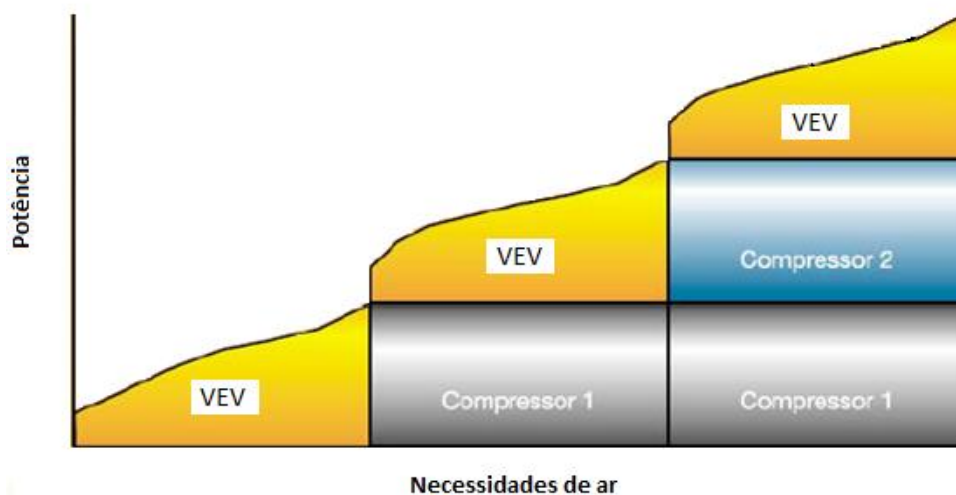


Figura 2.17 – Potência em função das necessidades de ar com a existência de um compressor VEV numa instalação com multi-compressores [40].

Com esta tecnologia é possível obter-se poupanças de 15 a 40 % em termos energéticos [31].

2.4 Aparelhos de medida

Para uma análise mais detalhada foram utilizados diferentes aparelhos de medida, consoante as necessidades de medição. Assim foram utilizados os seguintes aparelhos de medição:

- Analisador de energia “Fluke 1735”, figura 2.18, que permite obter informação sobre a tensão e corrente de cada fase, frequência, potência ativa, potência reativa, potência aparente, potência de dispersão, fator de potência, energia ativa, energia reativa e distorção harmónica total.



Figura 2.18 - Analisador de energia "Fluke 1735".

- Câmara termográfica “Fluke Ti10”, figura 2.19, que transforma a radiação infravermelha invisível ao olho humano numa imagem visível. Deteta a energia emitida por um objeto, modifica a sua frequência de energia recebida e produz uma imagem correspondente, contudo na faixa visível do espectro eletromagnético.



Figura 2.19 - Câmara termográfica "Fluke Ti10".

- Tacómetro, figura 2.20, que permite obter o valor das rotações de funcionamento do motor, a partir do qual pode-se ter uma noção qualitativa da carga a que o motor está sujeito.



Figura 2.20 – Tacómetro “Peak Tech 2785”.

3 Love Tiles

Antes de se realizar qualquer proposta de racionalização de energia é necessário conhecer adequadamente o processo produtivo da Love Tiles. Neste capítulo é realizada a apresentação da empresa onde esta dissertação teve origem, descrevendo de forma sucinta o processo produtivo.

3.1 Apresentação da empresa

A Love Tiles é uma das unidades industriais da Gres Panaria Portugal, S.A., sendo a outra a Margrés.

A empresa Love Tiles contém cerca de 280 colaboradores perfazendo uma faturação de cerca de 30 Milhões de euros, em que cerca de 66% é obtida no mercado externo. Para tal, conta com a produção de revestimentos em monoporosa natural e retificado, também conta com a produção de pavimentos em grés natural e retificado com tamanhos que vão desde 16,5x16,5 cm até 35x100 cm, contabilizando uma produção média de 5429 m²/dia de pavimento grés e 4787 m²/dia de revestimento em monoporosa [41][42][43].

A empresa Love Tiles é, então, essencialmente uma empresa cerâmica que produz pavimentos cerâmicos em porcelanato vidrado em pasta branca (monocozedura) e revestimentos cerâmicos em pasta branca (monoporosa). Os processos produtivos destes são bastante semelhantes. Em geral os pavimentos são menos porosos e mais resistentes ao contrário dos revestimentos que são mais porosos e menos resistentes.

3.1.1 Confidencialidade

Atendendo ao pedido de confidencialidade feito pela empresa Love Tiles, os valores de consumos de energia da empresa, bem como os valores de produção e VAB não poderão constar no documento. O preço da energia elétrica será considerado 0,104 €/kWh.

3.2 Fluxograma produtivo

De seguida, a figura 3.1 ilustra o processo produtivo da empresa, desde a receção de matérias-primas até ao armazenamento do produto final.

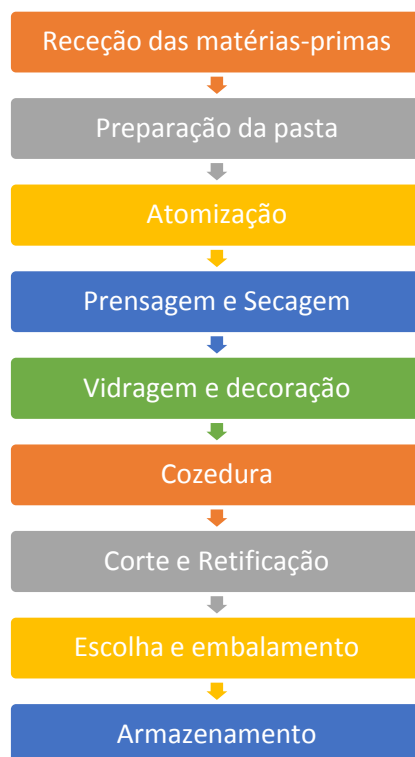


Figura 3.1 - Fluxograma produtivo da empresa Love Tiles.

3.2.1 Descrição do processo

Receção das matérias-primas

As matérias-primas, utilizadas na Love Tiles, são matérias naturais inorgânicas, argilas, calcite, feldspato, areias e talco que chegam em veículos pesados de transporte de mercadorias, sendo armazenadas em tulhas separadas e, posteriormente, através de uma pá carregadora são colocadas em tremonhas de carga e são distribuídas separadamente por silos de armazenagem com sistemas de pesagem incorporado [44][45].

Preparação da pasta

Depois de feita a pesagem, estas matérias-primas vão para os moinhos de bolas, normalmente de alumina, onde existe a moagem dos duros por via húmida. As argilas são diluídas em turbodiluidores. Após a moagem, o conteúdo dos moinhos é adicionado às argilas diluídas formando uma pasta, esta é descarregada para tanques de barbotina, de modo a sofrer a primeira peneira e filtragem, onde é submetida a ação de agitadores de forma a ser homogeneizada e mantida em suspensão. De seguida a barbotina é trasfegada para o tanque de alimentação do atomizador, sendo novamente peneirada, agora em malha mais fina [44][45].

Atomização

O fabrico do pó para a prensagem é processado num atomizador alimentado por bombas hidráulicas de alta pressão. O gerador de gases quentes para a secagem é alimentado por gás natural. O pó atomizado tem cerca de 5% a 6,5% de humidade e é armazenado em silos que depois alimentarão a linha de produção.

No atomizador é colocado a barbotina numa fornalha que será aquecida e mantida em estado líquido, esta depois passa por uma via estreita até ao atomizador onde uns jatos de alta pressão de “água” irão desintegrar a barbotina. A regulação desta pressão permite definir quais os tamanhos finais do pó. Após a barbotina ser desintegrada, as partículas arrefecem rapidamente, solidificando. De seguida, estas partículas que se encontram no fundo do atomizador são recolhidas e enviadas para a prensagem [44][45].

Prensagem e secagem

Na prensagem utilizam-se prensas hidráulicas automáticas de alta pressão. Na empresa Love Tiles existem 11 prensas deste tipo. É neste processo que a peça adquire a sua forma e parte das características mecânicas e superficiais, posteriormente o material é transportado para secadores verticais onde se efetua a secagem do mesmo, que tem como função retirar a quase totalidade da humidade ainda existente no pó atomizado, conferindo às peças as restantes características mecânicas que permitirão o seu transporte e processamento na linha de vidragem e decoração [44][45].

Vidragem e decoração

Esta empresa possui 11 linhas de vidragem e decoração, e, uma secção de preparação de vidros e tintas cerâmicas, com o objetivo de obter suspensões de tintas e vidros. A vidragem e a decoração são efetuadas por aplicação de vidrado, por aerógrafo, por cortina de vidro ou utilizando o método serigráfico ou impressão digital. O vidrado é uma matéria transparente, composta por vidro em pó que se mistura com outros componentes e é usado para cobrir a superfície dos objetos cerâmicos, aumentando a proteção e a impermeabilidade do material poroso cerâmico, garantindo ainda um aumento da resistência física e uma maior higiene no uso destes materiais. Os vidrados fornecem ao corpo cerâmico qualidade de brilho, sendo assim um importante suporte de decoração.

A Love Tiles possui ainda, um tintómetro que lhes permite preparar as tintas utilizadas nas decorações.

Após a fase de vidragem e decoração as peças vão para um parque intermédio onde serão previamente aquecidas com o ar recuperado da zona de arrefecimento do forno para depois serem descarregadas para um dos fornos de rolos [44][45].

Cozedura

A cozedura processa-se em fornos de rolos, que apresentam baixa inércia térmica e que são alimentados a gás natural. Este processo é completamente controlado, quer na temperatura quer nos ciclos de cozedura, em função das dimensões e das características do produto final. A cozedura é o processo que consome mais energia, visto terem temperaturas na ordem dos 1000 a 1200 °C [44][45].

Corte e retificação

Apenas o produto “pastilha” depois de cozido é enviado para a secção de corte e retificação, onde o produto é ajustado, cortado e seco. Este processo é feito através de jatos de água [44][45].

Escolha e embalamento

Nesta secção a escolha do produto é feita peça a peça tendo em conta dois tipos de defeitos, defeitos visuais (detetado pelo operador) ou defeitos dimensionais, de calibre e planaridade (detetados por equipamentos automáticos que consoante o tipo de defeitos encontrados vão dividir as peças agrupando-as em quatro zonas diferentes). De seguida as peças são embaladas em caixas de cartão por um equipamento automático, sendo depois colocadas em paletes de madeira.

A empresa Love Tiles promove ainda uma inspeção final aos produtos de forma a detetar possíveis erros na escolha do material [44][45].

Armazenamento

O produto já acabado e embalado é colocado num parque de produto final onde aguarda a sua expedição.

4 Análise dos casos de estudo

A empresa Love Tiles está em concordância com a segmentação dos consumos energéticos na indústria cerâmica, isto é, do valor total anual de consumo energético, 66,1 % é de gás natural, 32,1 % é de eletricidade e, no ano em que os valores foram obtidos existiu por necessidade o consumo de gasóleo com cerca de 1,8 %, figura 4.1.

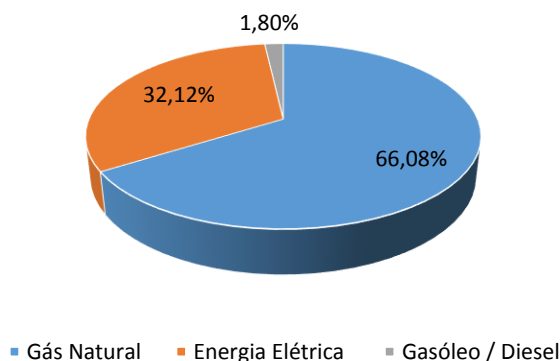


Figura 4.1 - Segmentação de consumos energéticos em 2011.

Através da figura 4.1 pode-se observar que a área de atuação seria nos grandes consumidores de gás natural (fornos e secadores), no entanto, como a empresa aderiu ao SGCIE em 2011, os auditores observaram um enorme potencial de poupança relativamente ao consumo de gás natural, tendo atuado nesse sentido. Assim, implementaram um sistema de recuperação do ar de arrefecimento final para o introduzir de novo como ar de combustão, obtendo uma poupança de 4,3 % relativamente ao total de energia consumida.

Para os secadores foram diminuídas as temperaturas dos queimadores, que em média estavam 40 °C acima do que realmente seria necessário para o processo.

4.1 Casos de estudo

Nesta secção serão descritos, de forma mais detalhada, os elementos dos casos que foram possíveis estudar na empresa Love Tiles.

4.1.1 Iluminação

Para melhor perceber como a iluminação estava distribuída pela empresa, esta foi dividida em várias zonas, representadas na tabela 4.1. Foi feito um levantamento da

iluminação existente por forma a, posteriormente, ser possível apresentar medidas que possam diminuir o consumo energético relativo a iluminação.

Tabela 4.1 - Descrição da divisão feita por zonas na empresa.

| Zonas | | Descrição de cada zona |
|----------|---|---|
| 1 | - | Preparação de Vidros + Armazém de vidrados + Compressores + Sala de Formação (P0,P1) + Armazém de peças (P0,P1) |
| 2 | - | Tanques de Barbotina |
| 3 | - | Atomizador + Preparação de pastas + Gab. Atomizador |
| 4 | - | Silos + QGBT2/3 + PT2/3 + PT5/QGBT5 + S. Chillers |
| 5 | - | Matéria-Prima |
| 6 | - | Oficina Mecânica + Oficina Serralharia + Armazém Óleos + Oficina elétrica |
| 7 | - | Preparação de amostras/Expositores + Armazém de acessórios |
| 8 | - | Zona de carga coberta |
| 9 | - | Armazém 1 + gabinete |
| 10 | - | Armazém 2 + Armazém 3 + QDP Soc Arm 3 + Q.Gab. Arm 3 + WC's |
| 11 | - | Armazém 4 |
| 12 | - | Fornos + Box's (c/ balneários, arrecadação, refeitório, cozinha) |
| 13 | - | Prensagem e Secagem |
| 14 | - | Vidragem (c/ WC) |
| 15 | - | Escolha + Embalamento (c/ Gab. Escolha, Gerador 3 e WC's) |
| 16 | - | Retificação |
| 17 | - | Armazém de embalagem |
| 18 | - | Laboratório serigráfico |
| 19 | - | Preparação de vidros (c/ Gab. Manutenção, Enfermaria, WC's, PT1-4, QGBT1-4, Gerador 1-2, Laboratório) |
| 20 | - | Armazém de Equipamentos Usados |
| 21 | - | Piso 1 (S. Técnicos/C. Qualidade) |
| 22 | - | Arrumos, Bombagem de Água e Destorroador |
| 23 | - | Depuradora, Decantação, Q. Etar, C.M. Pr. Lama, C.M. Bombas Etar |
| 24 | - | Etar (piso 0) + Receção de gás + Ramal de média tensão da EDP |
| Exterior | - | Exterior |

A empresa conta com 247,41 kW de potência instalada, onde está contabilizada a potência das lâmpadas e dos balastros associados. Esta empresa trabalha 24 horas por dia, no entanto, o tempo de utilização de iluminação varia de zona para zona, assim a informação do número de horas de utilização de iluminação de cada zona será descrito posteriormente.

Apenas foram estudadas as zonas que apresentavam um potencial de redução considerável. Para um estudo mais rigoroso foi utilizado o *software* Dialux 4.12, independente de qualquer fabricante de iluminação e que permite fazer simulações de edifícios e cálculos luminotécnicos.

Neste programa é necessário especificar as dimensões do edifício, comprimento, largura e altura. É ainda preciso especificar os graus de reflexão, bem como o material e a cor das superfícies do edifício.

Assim para todos os casos, os valores utilizados foram:

- Grau de reflexão do teto - 10 %
- Grau de reflexão das paredes - 30 %
- Grau de reflexão do solo - 20 %
- Plano de uso – 0,80 m.

Para comparação entre o estado atual da iluminação com as propostas que serão apresentadas, vão ser analisados os seguintes parâmetros:

- Potência específica

$$P_e = \frac{P_l}{A} \quad (4.1)$$

- Iluminância média

$$E_m = \frac{\Phi}{A} \quad (4.2)$$

- Consumo médio de energia

$$C_{e_{médio}} = \frac{E_c}{A} \quad (4.3)$$

Os valores reais apresentados, posteriormente, do consumo das lâmpadas foram retirados do *software* Dialux e o consumo dos balastros da referência [46].

4.1.1.1 Constituição das zonas estudadas

Nesta secção serão apresentadas as zonas que foram estudadas bem como a constituição das mesmas, isto é número de lâmpadas existente, a potência das lâmpadas e dos balastros. Na secção 4.1.1.2 serão apresentados os valores dos indicadores referidos anteriormente. Para as zonas 9, 10 e 11, a iluminação está ligada 16 horas por dia durante 312 dias. A constituição destas três zonas pode ser vista na tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Luminárias presentes nas zonas 9, 10 e 11.

| Zona | Luminária | Nº de lâmpadas | Potência da lâmpada (W) | Potência do balastro associado à lâmpada (W) |
|-------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------------|---|
| 9 | Vapor de Sódio (IZX-400W) | 6 | 400 | 400 |
| | Vapor de Sódio (IZX-250W) | 42 | 250 | 250 |
| 10 - Arm2 | Iodeto metálico (IS-150W) | 5 | 150 | 150 |
| | Vapor de Sódio (IZX-250W) | 48 | 250 | 250 |
| 10 - Arm3 | Estanque (c/ fluorescente T8) | 32 | 80 | 80 |
| | Iodeto metálico (IS-150W) | 20 | 150 | 150 |
| | Estanque (c/ fluorescente T8) | 14 | 58 | 58 |
| 11 | Estanque (c/ fluorescente T8) | 8 | 80 | 80 |
| | Vapor de Sódio (IZX-250W) | 58 | 250 | 250 |

Para o caso das zonas 12, 14 e 15, a iluminação está ligada 12 horas no horário de Verão e 15 horas no horário de Inverno, durante os mesmos 312 dias por ano. Na tabela 4.3, pode-se observar a constituição das mesmas. Na zona 19 foi apenas considerado o laboratório onde a iluminação está ligada 9 horas por dia. Relativamente à zona 21, esta tem a iluminação ligada em média 15 horas por dia. Nas zonas 19 e 21 os balastros que estão associados às luminárias são balastros ferromagnéticos (FM).

Tabela 4.3 - Luminárias presentes nas zonas 12,14, 15 e 17.

| Zona | Luminária | Nº de lâmpadas | Potência da lâmpada (W) | Potência do balastro associado à lâmpada (W) |
|-------------|---|-----------------------|--------------------------------|---|
| 12 | Estanque (c/ fluorescente T8) | 159 | 36 | 36 |
| | Iodeto metálico (IS-150W) | 144 | 150 | 150 |
| | Iodeto metálico (IS-250W) | 4 | 250 | 250 |
| | Fluorescente T8 c/ refletor de alumínio | 17 | 36 | 36 |
| 14 | Estanque (c/ fluorescente T8) | 238 | 36 | 36 |
| | Iodeto metálico (IS-250W) | 6 | 250 | 250 |
| | Iodeto metálico (IS-150W) | 114 | 150 | 150 |
| | Estanque (c/ fluorescente T8) | 16 | 80 | 80 |
| | Estanque (c/ fluorescente T8) | 7 | 18 | 18 |
| 15 | Iodeto metálico (IS-150W) | 76 | 150 | 150 |
| | Estanque (c/ fluorescente T8) | 4 | 80 | 80 |
| | Estanque (c/ fluorescente T8) | 51 | 36 | 36 |
| | Estanque (c/ fluorescente T8) | 18 | 18 | 18 |
| 17 | Iodeto metálico (IS-150W) | 18 | 150 | 150 |
| | Estanque (c/ fluorescente T8) | 40 | 80 | 80 |
| | Estanque (c/ fluorescente T8) | 14 | 58 | 58 |
| 19 | Estanque (c/ fluorescente T8) | 20 | 36 | 36 - FM |
| 21 | Estanque (c/ fluorescente T8) | 54 | 36 | 36 - FM |

4.1.1.2 Indicadores de iluminação

Nesta secção serão apresentados os indicadores de iluminação que, posteriormente, serão comparados com as propostas apresentadas. Assim, na tabela 4.4, podemos ver os indicadores para cada zona estudada.

Tabela 4.4 - Indicadores para as diferentes zonas.

| Zona | P_l (kW) | A (m ²) | Fluxo Luminoso (lm) | P_e ($\frac{W}{m^2}$) | E_m (lx) | $Ce_{médio}$ ($\frac{kWh}{m^2 \cdot ano}$) |
|---------|---------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|------------|---|
| 9 | 14,09 | 1852,87 | 679056 | 7,60 | 45,00 | 37,96 |
| 10 Arm2 | 14,02 | 1962,78 | 665170 | 7,14 | 30,00 | 35,66 |
| 10 Arm3 | 10,14 | 3103,21 | 403273 | 3,27 | 67,00 | 16,31 |
| 11 | 16,53 | 3033,20 | 798668 | 5,45 | 47,00 | 27,20 |
| 12 | 31,91 | 10686,12 | 2006112 | 2,99 | 187,73 | 12,49 |
| 14 | 31,16 | 9058,70 | 1772642 | 3,44 | 195,68 | 14,39 |
| 15 | 15,40 | 5862,11 | 898788 | 2,63 | 153,32 | 10,99 |
| 17 | 7,07 | 3031,09 | 478764 | 2,33 | 157,95 | 9,76 |
| 19 | 0,94 | 88,66 | 67000 | 10,60 | 755,70 | 29,77 |
| 21 | 2,54 | 177,67 | 180900 | 14,28 | 1018,18 | 40,11 |

4.1.1.3 Linhas isográficas

Utilizando o *software* Dialux 4.12 foi necessário construir e mobilar os edifícios, figura 4.2, de forma a melhor reproduzir como a luz se irá comportar consoante as várias hipóteses. Este *software* foi utilizado apenas para as zonas 9, 10 e 11. Para as zonas 12, 14, 15 e 17 não foi utilizado porque para além das luminárias que se encontram em suspensão no teto dos pavilhões, existem luminárias para o trabalho local que aumentam a luminosidade onde os colaboradores trabalham.



Figura 4.2 - Simulação para a zona 9 e 10 (armazém 2).

Na figura 4.3, podemos ver as linhas isográficas para a zona 9 e zona 10 (armazém 2) ao nível do plano de uso.

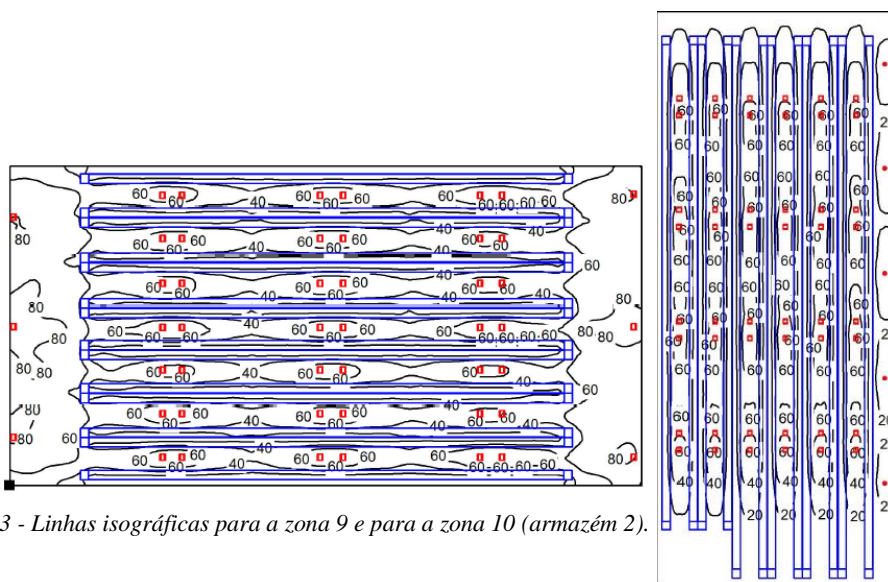


Figura 4.3 - Linhas isográficas para a zona 9 e para a zona 10 (armazém 2).

A iluminância média para a zona 9 varia entre 40 a 80 lx ao nível do plano de uso, já para a zona 10 (armazém 2) este valor varia entre 20 e 60 lx.

Para a zona 10 (armazém 3) e para a zona 11, os valores oscilam entre 40 e 160 lx. Na figura 4.4, podemos ver de que forma estão distribuídos os valores de iluminância média.

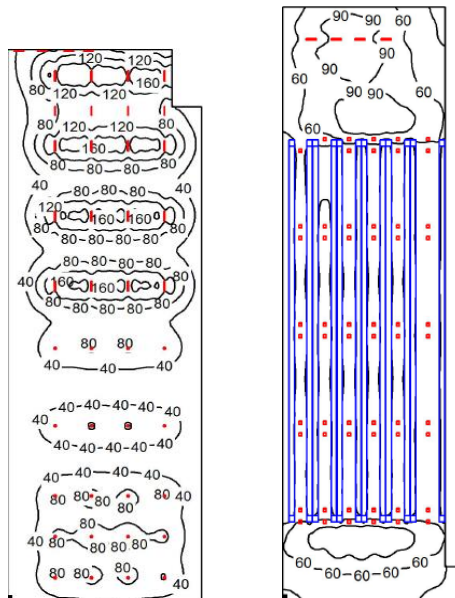


Figura 4.4 - Linhas isográficas para zona 10 (armazém 3) e zona 11.

4.1.2 Compressores

A empresa Love Tiles contém três compressores, dois GA 110 kW e um GA 90 kW (Atlas Copco), estes trabalham em “carga/alívio”. No entanto, devido à presente situação da empresa apenas estão em funcionamento o compressor GA 90 kW e um GA 110 kW, na tabela 4.5 estão presentes as características destes compressores. O modo de funcionamento tendo em conta a figura 2.16, o *master* é o GA 90 kW e os *slaves* são os GA 110 kW.

Tabela 4.5 - Características dos compressores.

| Dados dos Compressores | GA90 | GA 110 | GA 110 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| FAD (l/s) / (m ³ /min) | 262 / 15,72 | 314 / 18,84 | 314 / 18,84 |
| Potência (kW) | 90 | 110 | 110 |
| Pressão (bar) – set points | 5,7-6,5 | 5,5-6,2 | - - - |

Para uma análise mais precisa sobre os consumos energéticos dos compressores foi utilizado o analisador de energia “Fluke 1735”.

Com este aparelho foi possível medir os parâmetros energéticos necessários para efetuar a avaliação energética dos compressores. Estes valores foram obtidos durante seis dias em intervalos de dois em dois minutos. Na figura 4.5, é possível observar o comportamento da potência ativa do compressor GA 90 kW em função do tempo medido.

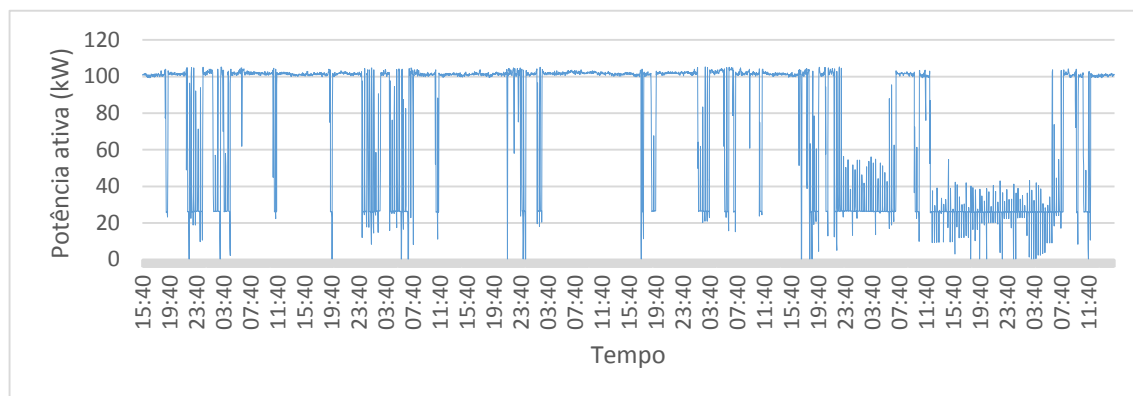


Figura 4.5 - GA 90 kW. Potência ativa em função do tempo.

O mesmo foi feito com o compressor GA 110 kW. Segundo a figura 4.6, pode-se observar que este tem um comportamento bastante irregular, isto é, flutua frequentemente entre carga e alívio durante os seis dias.

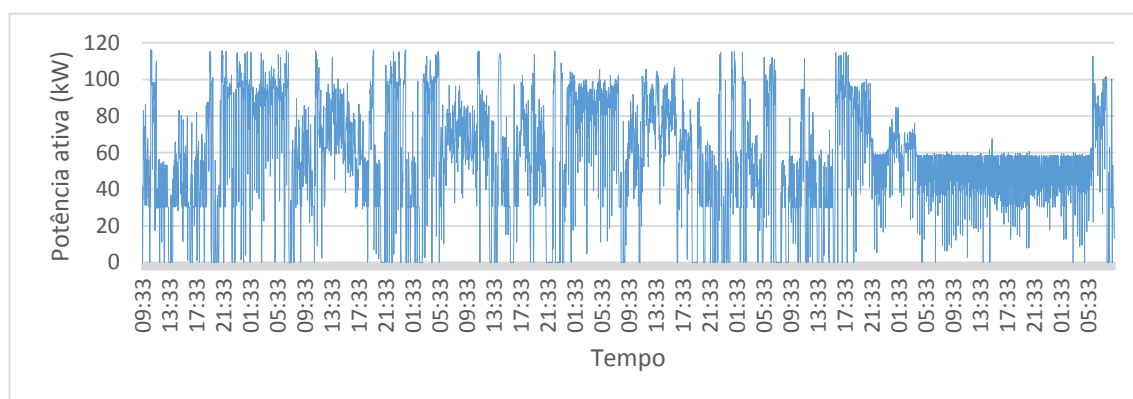


Figura 4.6 - GA 110 kW. Potência ativa em função do tempo.

Para fazer a análise destes dois compressores, foi desenvolvido um programa em MATLAB (*software* com uma linguagem avançada e com um ambiente interativo para computação numérica, visualização e programação) que consoante os valores iniciais de entrada, isto é, os valores mínimos e máximos para a potência de carga ou potência de vazio que queremos analisar, será obtido um número correspondente ao tempo em que o compressor se encontra entre o intervalo de valores escolhidos. É também possível, neste programa, obter-se o valor estimado do caudal de ar produzido por cada compressor durante o seu tempo de carga e assim conseguir perceber quais as necessidades de ar comprimido durante aquele intervalo de tempo. Para isso é preciso inserir informações iniciais sobre o compressor e o seu funcionamento, tais como:

- Pressão máxima de funcionamento do compressor;
- Pressão mínima de funcionamento do compressor;

- Fluxo de ar mínimo associado a pressão máxima;
- Fluxo de ar máximo associado a pressão mínima;
- Valor da potência mínima para o qual o compressor se encontra em carga.

Para uma análise mais rigorosa da produção de ar comprimido dos compressores, seria necessário utilizar um caudalímetro. Visto não existir esta possibilidade na empresa, foi utilizado o programa desenvolvimento para se perceber, em termos de estimativa, quais as necessidades existentes na empresa.

4.1.3 Motores

Na empresa Love Tiles existem motores elétricos de várias potências nominais, desde 0,25 kW até 110 kW, distribuídos por todo o processo produtivo. Na tabela 4.6, estão caracterizados os motores estudados. Foram analisados 12 motores com potência nominal de 7,5 kW e 12 motores com potência nominal de 5,5 kW. A sigla ABR é apenas representativa dos diferentes motores, sendo a sigla que a empresa utiliza para a sua organização.

Tabela 4.6 - Características dos motores analisados.

| Motores | | |
|--|---------------------|---------------------|
| Potência Nominal (kW) | 5,5 | 7,5 |
| Tensão de Alimentação (V) | 400 | 400 |
| Intensidade de corrente (A) | 12,8 | 16,5 |
| Fator de Potência | 0,78 | 0,81 |
| Frequência (Hz) | 50 | 50 |
| Regime anual de funcionamento (h) | 4320 | 4320 |
| Tipo de aplicação | Agitador Industrial | Agitador Industrial |

Para a análise energética foi utilizado o mesmo analisador de energia “Fluke 1735”, que irá servir de suporte para os métodos utilizados para o cálculo da carga média a que os motores estão sujeitos, bem como os seus rendimentos. Na figura 4.7, pode-se observar qual o comportamento destes motores durante 1 dia com medições de 20 em 20 segundos para os tanques de porosa. Na figura 4.8 podemos observar o comportamento dos motores para os tanques de grés. Pelos gráficos podemos ver que estes têm um comportamento semelhante, isto é, a potência absorvida mantém-se praticamente estável.

Relativamente aos tanques de grés e porosa, que estão por baixo do atomizador, estes também são compostos por motores de 5,5 e 7,5 kW de potência nominal, figura 4.9.

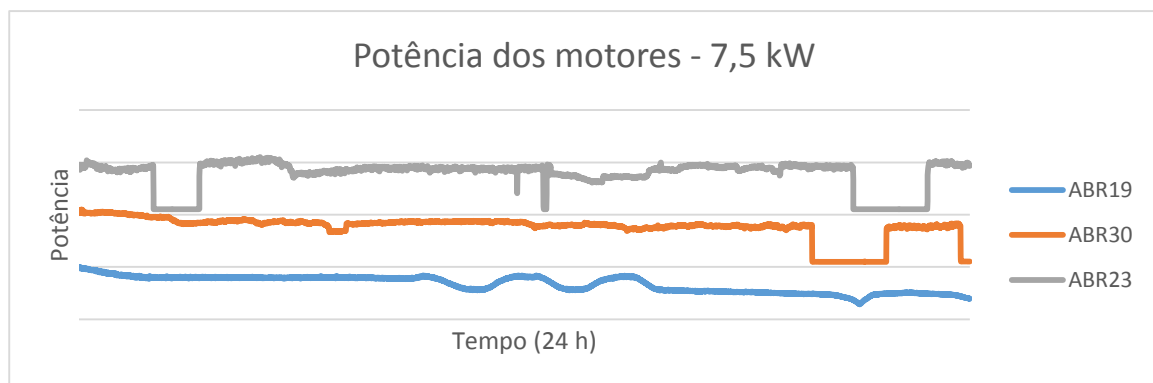
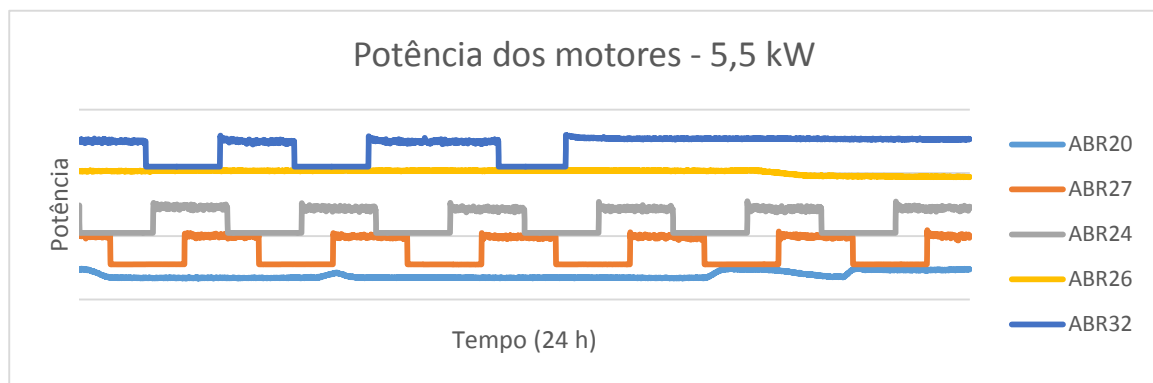


Figura 4.7 - Motores presentes nos tanques de porosa.

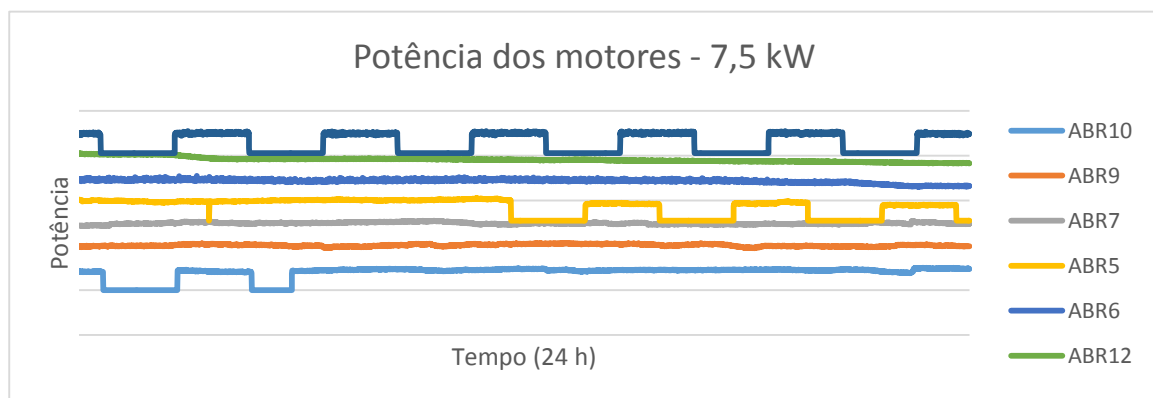
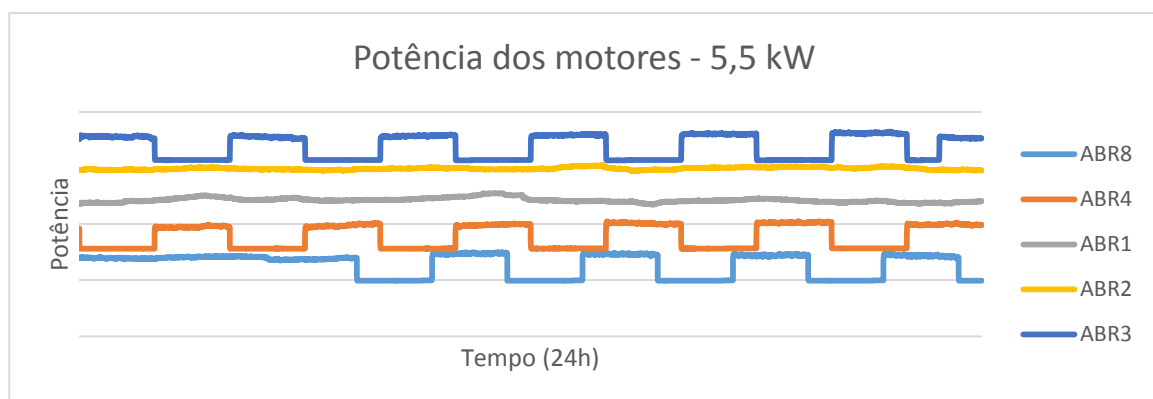


Figura 4.8 - Motores presentes nos tanques de grés.

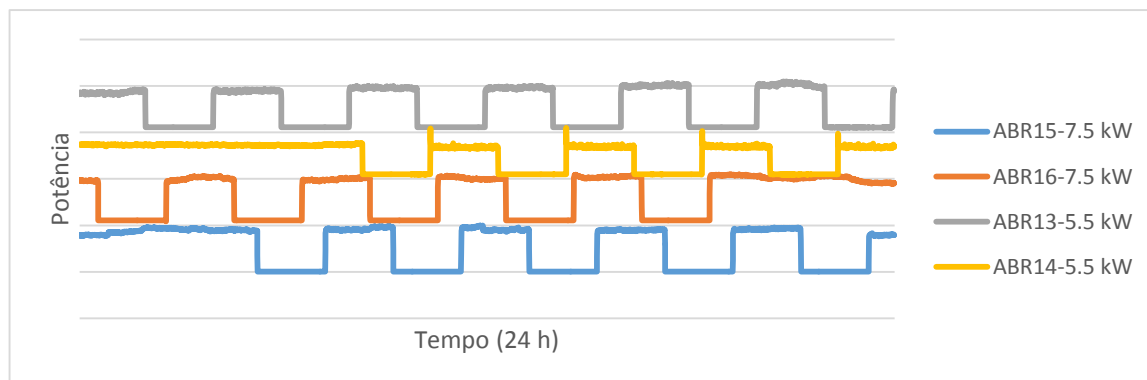


Figura 4.9 - Motores presentes nos tanques na zona do atomizador.

A análise (capítulo 5.3) irá identificar as reais condições de funcionamento dos motores (IE1) de potências diferentes, incluindo as suas cargas e os rendimentos associados. É com base nestas informações que se propõe medidas que permitam uma melhoria do funcionamento destes motores e, para isso, utiliza-se diferentes métodos de análise que serão explorados no capítulo seguinte.

5 Discussão de resultados

Neste capítulo serão analisadas propostas de melhoria de consumos energéticos e os seus resultados para a iluminação, compressores e motores. Relembrando que o preço da eletricidade é 0,104 €/kWh, todos os cálculos económicos irão ter por base este preço.

5.1 Iluminação

5.1.1 Análise energética da iluminação

Nesta secção serão apresentadas as propostas de mudanças e qual a consequência destas a nível energético. Posteriormente, na secção 5.1.2, será feita a análise económica para as mudanças efetuadas. Serão considerados os valores na tabela 5.1 para as novas lâmpadas a instalar.

Tabela 5.1 - Tabela do fluxo luminoso de cada lâmpada.

| Tipo | Designação | Fluxo Luminoso (lm) |
|----------------|----------------------|----------------------------|
| Lâmpada | FQ 80W/840 HO | 6550 |
| | Iodeto metálico 75 W | 6000 |

5.1.1.1 Zona 9

Para a zona 9 é possível fazer a substituição de 3 projetores IZX-400 W por 3 projetores IZX-250 W, visto ser um local com pouca utilização, e também substituir os 42 projetores IZX-250 W por 42 luminárias T5 2x80 W. Com esta substituição será possível aumentar os níveis de iluminância média diminuindo o consumo energético, como se poderá ver na figura 5.1.

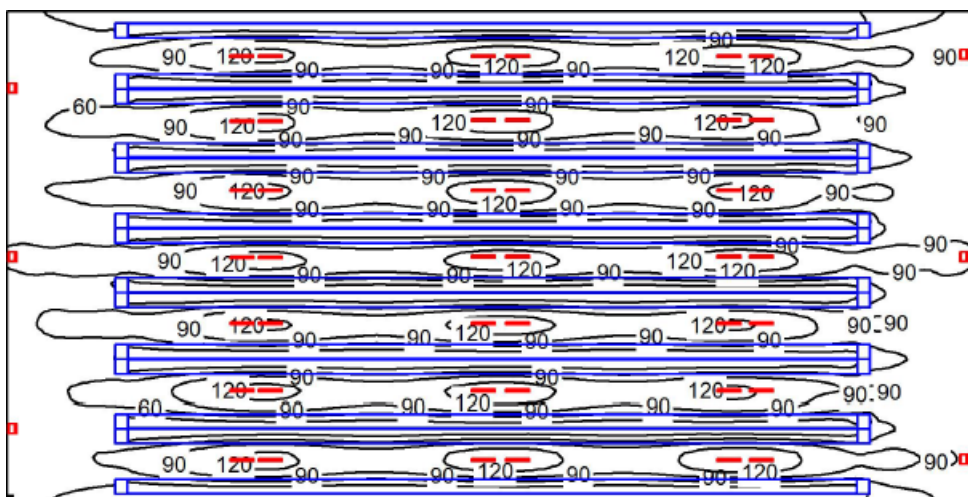


Figura 5.1 - Linhas isográficas para a zona 9 com alteração de luminárias.

Na tabela 5.2 estão expostos os indicadores da zona 9 e os indicadores relativo à zona 9 com as alterações propostas, pelo que de seguida iremos proceder à sua comparação e demonstrar as vantagens que as alterações produzem.

Tabela 5.2 - Indicadores para a zona 9 inicial e para a zona 9 alterada.

| Zona | P_l (kW) | A (m ²) | Fluxo Luminoso (lm) | P_e ($\frac{W}{m^2}$) | E_m (lx) | $Ce_{médio}$ ($\frac{kWh}{m^2 \cdot ano}$) |
|---------------|---------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|------------|---|
| 9 | 14,09 | 1852,87 | 679056 | 7,60 | 45,00 | 37,96 |
| 9 Alterada | 9,34 | 1852,87 | 629566 | 5,04 | 67,00 | 25,16 |
| % | -33,71 | - - - | -7,29 | -33,71 | +48,89 | -33,71 |

A zona 9 possui luminárias de 250 W expostas com um ângulo de 30° perpendicular ao solo que apresenta uma iluminância média de 45 lx. Uma proposta para melhorar a iluminância média passa por substituir as antigas luminárias por luminárias de 2x80 W expostas em paralelo ao corredor. Esta alteração permite um aumento daa iluminância média para 67 lx apesar da diminuição em 7,29 % o fluxo luminoso.

Com esta alteração diminui-se a potência instalada em 33,71 %, diminuindo-se assim substancialmente o consumo elétrico para esta zona.

5.1.1.2 Zona 10 – Armazém 2

Em semelhança com a zona 9, neste armazém é possível substituir-se os 48 IZX-250 W por 48 luminárias T5 2x80 W. Desta forma, e no seguimento da zona anterior, é também possível aumentar os níveis de iluminância média diminuindo o consumo de energia elétrica. Na figura 5.2, estão representadas as linhas isográficas correspondentes a esta mudança.

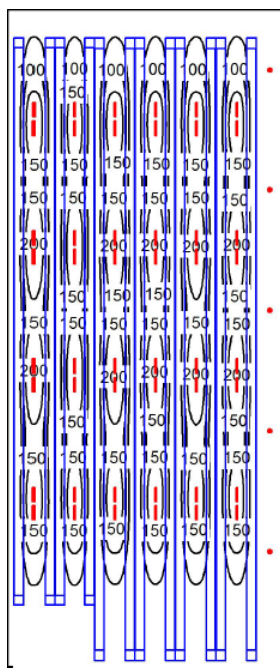


Figura 5.2 - Linhas isográficas para a zona 10 (armazém 2) com alteração de luminárias.

Comparando os indicadores anteriores referentes a esta zona e os novos indicadores com as alterações propostas, observa-se através da tabela 5.3 que existe uma diminuição da potência instalada e a conseqüentemente diminuição do consumo energético.

Tabela 5.3 – Indicadores para a zona 10 (armazém 2) inicial e para a zona 10 (armazém 2) alterada.

| Zona | P_l (kW) | A (m ²) | Fluxo Luminoso (lm) | P_e ($\frac{W}{m^2}$) | E_m (lx) | $Ce_{médio}$ ($\frac{kWh}{m^2*ano}$) |
|--------------------|------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|------------|--|
| 10 – Arm2 | 14,02 | 1962,78 | 665170 | 7,14 | 30,00 | 35,66 |
| 10 – Arm2 Alterada | 9,10 | 1962,78 | 642099 | 4,64 | 70,00 | 23,14 |
| % | -35,09 | - - - | -3,47 | -35,09 | +133,33 | -35,09 |

Apesar da diminuição do fluxo luminoso de 3,47 %, devido às características do posicionamento das luminárias existentes, em semelhança com a zona 9, é possível aumentar a iluminância média em 133,33 %.

5.1.1.3 Zona 10 – Armazém 3

A zona onde se encontram as luminárias de iodetos metálicos de 150 W, é uma zona de passagem, contendo no entanto alguns produtos acabados. Analogamente ao que foi feito anteriormente, é possível substituir-se as 20 luminárias de 150 W por 20 luminárias T5 1x80 W. Neste armazém, como nos anteriores, foi utilizado o *software* Dialux, que nos permite comparar os valores iniciais de iluminância com os valores após a mudança das luminárias, figura 5.3.

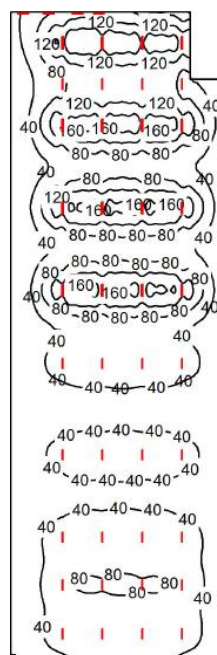


Figura 5.3 – Linhas isográficas para a zona 10 – armazém 3 com alteração de luminárias.

Comparando os indicadores para os dois casos através da tabela 5.4, podemos ver que apesar dos indicadores de consumo energético médio e potência específica diminuir cerca de 16,5 %, a iluminância média diminui de 67 para 66 lx.

Tabela 5.4 – Indicadores para a zona 10 (armazém 3) inicial e para a zona 10 (armazém 3) alterada.

| Zona | P_l (kW) | A (m ²) | Fluxo Luminoso (lm) | P_e ($\frac{W}{m^2}$) | E_m (lx) | $Ce_{médio}$ ($\frac{kWh}{m^2 \cdot ano}$) |
|--------------------|------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|------------|--|
| 10 – Arm3 | 10,14 | 3103,21 | 403273 | 3,27 | 67 | 16,31 |
| 10 - Arm3 Alterada | 8,46 | 3103,21 | 335666 | 2,73 | 66 | 13,61 |
| % | -16,57 | - - - | -16,76 | -16,57 | -1,49 | -16,57 |

5.1.1.4 Zona 11

É possível nesta zona com a alteração dos 58 projetores de vapor de sódio de 250 W por 58 luminárias T5 2x80 W aumentar o valor da iluminância média e diminuir o consumo de eletricidade do armazém 4. Na figura 5.4, podemos ver como estão distribuídas e qual o valor das linhas isográficas ao nível do plano de uso.

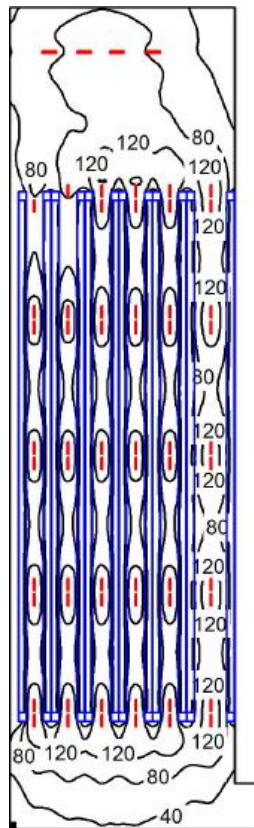


Figura 5.4 - Linhas isográficas para a zona 11 com alteração de luminárias

Os indicadores estão representados na Tabela 5.5, e nota-se uma diminuição na potência instalada de aproximadamente 36 %, no entanto, diminuiu-se o fluxo luminoso em 3,49 % e aumentou-se a iluminância média para o valor de 75 lx.

Tabela 5.5 - Indicadores para a zona 11 inicial e para a zona 11 alterada

| Zona | P_l (kW) | A (m ²) | Fluxo Luminoso (lm) | P_e ($\frac{W}{m^2}$) | E_m (lx) | $Ce_{médio}$ ($\frac{kWh}{m^2 \cdot ano}$) |
|-------------|------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|------------|--|
| 11 | 16,53 | 3033,20 | 798668 | 5,45 | 47,00 | 27,20 |
| 11 Alterada | 10,62 | 3033,20 | 770789 | 3,50 | 75,00 | 17,48 |
| % | -35,75 | - - - | -3,49 | -35,75 | +59,57 | -35,75 |

5.1.1.5 Zona 12

Nesta secção será estudada a zona dos fornos e das *box's*. É possível alterar metade das lâmpadas de iodetos metálicos de 150 W por iodetos metálicos de 75W e intercala-las em X, uma vez que esta zona é apenas de passagem, não existindo necessidade de elevada luminosidade. Todos os locais de trabalho desta zona têm luz localizada. Os indicadores desta zona estão presentes na tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Indicadores para a zona 12 inicial e para a zona 12 alterada.

| Zona | P_l (kW) | A (m ²) | Fluxo Luminoso (lm) | P_e ($\frac{W}{m^2}$) | E_m (lx) | $Ce_{médio}$ ($\frac{kWh}{m^2 \cdot ano}$) |
|-------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------------|------------|--|
| 12 | 31,91 | 10686,12 | 2006112 | 2,99 | 187,73 | 12,49 |
| 12 Alterada | 25,61 | 10686,12 | 1793856 | 2,40 | 167,87 | 10,03 |
| % | -19,74 | - - - | -10,58 | -19,74 | -10,58 | -19,74 |

Como não existe a necessidade de ter uma grande luminosidade e o espaço ter luminárias localizadas para os colaboradores trabalharem, é possível diminuir a potência instalada para 25,61 kW tendo como consequência a diminuição do consumo elétrico em 16,57 %. No entanto a iluminância média sofre uma diminuição, uma vez que passará a ser de 167,87 lx.

5.1.1.6 Zona 14

A zona 14 é a zona de vidragem do processo produtivo. Esta zona contém um número elevado de luminárias localizadas nas linhas de vidragem para os operadores poderem realizar as suas tarefas. Assim, é possível alterar metade das lâmpadas de iodetos metálicos de 150 W por lâmpadas de 75 W de iodetos metálicos, intercalando-as em X. Os indicadores da tabela 5.7 mostram que esta substituição irá provocar uma diminuição do consumo energético de 16 %, no entanto diminuirá o valor de iluminância média de 195,68 para 176,13 lx, uma redução que representa 10 %.

Tabela 5.7 - Indicadores para a zona 14 inicial e para a zona 14 alterada.

| Zona | P_l (kW) | A (m ²) | Fluxo Luminoso (lm) | P_e ($\frac{W}{m^2}$) | E_m (lx) | $Ce_{médio}$ ($\frac{kWh}{m^2 \cdot ano}$) |
|-------------|------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|------------|--|
| 14 | 31,16 | 9058,70 | 1772642 | 3,44 | 195,68 | 14,39 |
| 14 Alterada | 26,17 | 9058,70 | 1595506 | 2,89 | 176,13 | 12,09 |
| % | -16,00 | - - - | -9,99 | -16,00 | -9,99 | -16,00 |

5.1.1.7 Zona 15

Esta zona apresenta características semelhantes à zona 14, isto porque, é uma zona onde existe um número elevado de luminárias localizadas, logo será possível fazer alterações semelhantes. Assim, é possível alterar metade das lâmpadas de iodetos metálicos de 150 W por lâmpadas de 75 W de iodetos metálicos, intercalando-as em X.

Tabela 5.8 - Indicadores para a zona 15 inicial e para a zona 15 alterada.

| Zona | P_l (kW) | A (m ²) | Fluxo Luminoso (lm) | P_e ($\frac{W}{m^2}$) | E_m (lx) | $Ce_{médio}$ ($\frac{kWh}{m^2 \cdot ano}$) |
|-------------|------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|------------|--|
| 15 | 15,40 | 5862,11 | 898788 | 2,63 | 153,32 | 10,99 |
| 15 Alterada | 12,08 | 5862,11 | 786764 | 2,06 | 134,21 | 8,62 |
| % | -21,59 | - - - | -12,46 | -21,59 | -12,46 | -21,59 |

Através da tabela 5.8, é possível ver que com a aplicação deste tipo de luminárias ir-se-á obter uma redução do consumo de aproximadamente 22 %, prejudicando a iluminância média da zona 15 em 12,46 %.

5.1.1.8 Zona 17

Para esta zona é proposta a troca de metade das lâmpadas de iodetos metálicos de 150 W por lâmpadas de iodetos metálicos de 75 W. Os indicadores podem ser vistos

na tabela 5.9. Esta alteração irá provocar uma diminuição de consumo energético anual em 11,14 %, bem como a diminuição a iluminância média em 6,44 % relativamente ao que está implementado.

Tabela 5.9 - Indicadores para a zona 17 inicial e para a zona 17 alterada.

| Zona | P_l (kW) | A (m ²) | Fluxo Luminoso (lm) | P_e ($\frac{W}{m^2}$) | E_m (lx) | $Ce_{médio}$ ($\frac{kWh}{m^2 \cdot ano}$) |
|-------------|------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|------------|--|
| 17 | 7,07 | 3031,09 | 455664 | 2,33 | 150,33 | 9,76 |
| 17 Alterada | 6,28 | 3031,09 | 426332 | 2,07 | 140,65 | 8,67 |
| % | -11,14 | - - - | -6,44 | -11,14 | -6,44 | -11,14 |

5.1.1.9 Zona 19

Nesta secção o estudo irá incidir sobre o laboratório. Nesta zona cada lâmpada tem associado um balastro ferromagnético, sendo que tem 10 luminárias fluorescentes com refletor em alumínio 2x36 W e 20 balastros ferromagnéticos de 65 W. A alteração que se propõe é que se realize a troca dos 20 balastros ferromagnéticos por 10 balastros eletrónicos, uma vez que cada balastro eletrónico dá para duas lâmpadas. A vantagem destas trocas prende-se com a diminuição da potência instalada de 0,94 kW para 0,68 kW, mantendo-se os níveis de iluminância média. Os indicadores podem ser visualizados na tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Indicadores para a zona 19 inicial e para a zona 19 alterada.

| Zona | P_l (kW) | A (m ²) | Fluxo Luminoso (lm) | P_e ($\frac{W}{m^2}$) | E_m (lx) | $Ce_{médio}$ ($\frac{kWh}{m^2 \cdot ano}$) |
|-------------|------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|------------|--|
| 19 | 0,94 | 88,66 | 67000 | 10,60 | 755,70 | 29,77 |
| 19 Alterada | 0,68 | 88,66 | 67000 | 7,67 | 755,70 | 21,54 |
| % | -27,66 | - - - | - - - | -27,66 | - - - | -27,66 |

5.1.1.10 Zona 21

Em semelhança à secção anterior (5.1.1.9) na sala de técnicos e no controlo de qualidade, existem 27 luminárias fluorescentes com refletor de alumínio 2x36 W equipadas com balastos ferromagnéticos de 65W. A alteração proposta é igual à da zona anterior e é possível diminuir o consumo energético anual em 27,66 %, sem interferir com os valores de iluminância média. Os indicadores desta zona estão expostos na tabela 5.11.

Tabela 5.11 - Indicadores para a zona 21 inicial e para a zona 21 alterada.

| Zona | P_l (kW) | A (m ²) | Fluxo Luminoso (lm) | P_e ($\frac{W}{m^2}$) | E_m (lx) | $Ce_{médio}$ ($\frac{kWh}{m^2 \cdot ano}$) |
|-------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------------|------------|--|
| 21 | 2,54 | 177,67 | 180900 | 14,28 | 1018,18 | 40,11 |
| 21 Alterada | 1,84 | 177,67 | 180900 | 10,33 | 1018,18 | 29,02 |
| % | -27,66 | - - - | - - - | -27,66 | - - - | -27,66 |

5.1.2 Análise económica da iluminação

Perante os casos anteriormente mencionados foi pedido um orçamento para o material necessário para efetuar as alterações propostas. Os preços estão indicados na tabela 5.12 e no anexo 1.

Tabela 5.12 - Informação de preços para o material necessário.

| Tipo | Designação | Preço (€/unidade) |
|----------|------------------------------|-------------------|
| Armadura | PHILIPS TMX400 2xTL5-80W HFP | 48,75 |
| | PHILIPS TMX400 1xTL5-80W HFP | 35,10 |
| Refletor | GMX570 C-NB | 21,45 |
| | GMX555 MB | 14,30 |
| Lâmpada | FQ 80W/840 HO | 4,15 |
| | Iodeto metálico 75 W | 23,12 |
| Balastro | Balastro eletrónico 2 X 36 W | 14,55 |

Com os preços que foram fornecidos é possível calcular o investimento necessário, bem como o retorno que se irá obter. Na tabela 5.13 estão presentes os valores dos

investimentos necessários referentes às medidas que foram indicadas, bem como a poupança obtida e o seu retorno.

Tabela 5.13 - Estudo económico por zonas.

| Zona | Estudo | Investimento (€) | Poupança (€/ano) | Retorno (anos) |
|------|-----------|------------------|------------------|----------------|
| 9 | - | 3297,00 | 2468,64 | 1,34 |
| 10 | Armazém 2 | 3768,00 | 2541,85 | 1,48 |
| | Armazém 3 | 1071,00 | 872,20 | 1,23 |
| 11 | - | 4553,00 | 3071,40 | 1,48 |
| 12 | - | 1664,64 | 2669,28 | 0,62 |
| 14 | - | 1317,84 | 2113,18 | 0,62 |
| 15 | - | 878,56 | 1408,79 | 0,62 |
| 17 | - | 208,08 | 333,66 | 0,62 |
| 19 | - | 145,50 | 63,27 | 2,30 |
| 21 | - | 392,85 | 170,84 | 2,30 |

Pela tabela 5.13, podemos ver que é necessário um investimento inicial de 17296,47 € para se efetuar todas as mudanças propostas. Estas alterações irão traduzir-se numa poupança de 15713,12 € por ano. O retorno médio esperado será de aproximadamente 1,1 anos. Com estas medidas é possível reduzir em média 24,49 % dos gastos com consumos energéticos relativamente à situação inicial das zonas estudadas. Este valor representa, em termos energéticos, uma poupança de 151087,70 kWh/ano, ou seja, 32,48 tep. A relação entre kWh e tep é dada pela equação (5.1).

$$1 \text{ kWh} = 215 * 10^{-6} \text{ tep} \quad (5.1)$$

5.2 Compressores

Para o estudo dos compressores foi utilizado o *software* MATLAB referido anteriormente. Os valores calculados para o tempo em que os compressores se encontram em carga e em alívio, bem como a potência que consomem nos dois casos, estão representados na tabela 5.14. Estes valores foram calculados durante seis dias em intervalos de dois em dois minutos a partir das medições feitas com um analisador de energia.

Tabela 5.14 - Valores calculados para os compressores.

| Dados Calculados | GA90 | GA 110 | GA 110 | Total |
|------------------------------|-----------|-----------|--------|---------|
| Potência média em vazio (kW) | 26,24 | 32,63 | --- | --- |
| Potência média em carga (kW) | 101,63 | 101,98 | --- | --- |
| Tempo em carga (h) | 100,07 | 82,63 | --- | --- |
| Tempo em alívio (h) | 42,80 | 47,33 | --- | --- |
| Tempo em modo desligado (h) | 1,10 | 14,00 | --- | --- |
| Energia em carga (kWh) | 10170,11 | 8426,95 | --- | --- |
| Energia em vazio (kWh) | 1123,07 | 1544,49 | --- | --- |
| Consumo anual em carga (kWh) | 583086,54 | 483144,98 | --- | 1066232 |
| Consumo anual em vazio (kWh) | 64389,46 | 88550,57 | --- | 152940 |

Foi considerado que os compressores trabalham 24 horas por dia durante 344 dias, visto existirem três semanas em que a empresa não necessita de usar os compressores. Assim foi calculado o consumo anual em vazio a partir da equação (5.2):

$$C_{av} = \frac{P_v * T_v}{6} * 344 \quad (5.2)$$

A partir da figura 5.5 é possível ver que os compressores estão em alívio, ou seja, a consumir energia elétrica sem produzir ar comprimido, durante cerca de 30 % do tempo de funcionamento. Assim, existe aqui uma potencialidade enorme de redução. Se se considerar o preço da energia elétrica de 0,104 €/kWh, anualmente é pago 15905,76 € de consumo em vazio, valor que poderia ser anulado da fatura energética. Em termos energéticos este valor representa 152940 kWh/ano ou 32,88 tep/ano. Na figura 5.5 é possível observar como se encontra distribuído o modo de funcionamento para o compressor GA 90 kW e, na figura 5.6, para o compressor GA 110 kW.

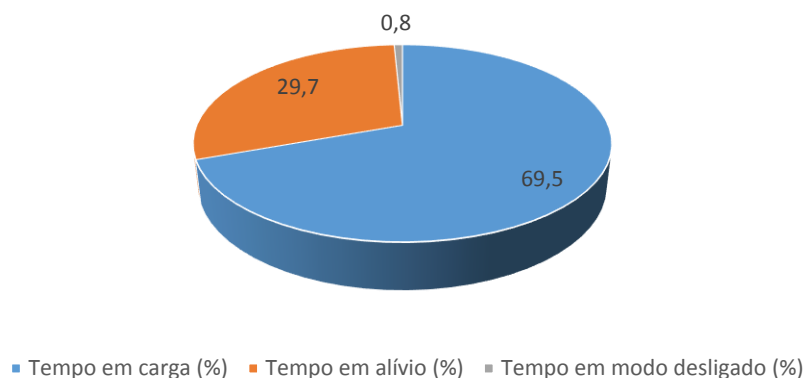


Figura 5.5 - Distribuição do modo de funcionamento do compressor GA 90 kW.

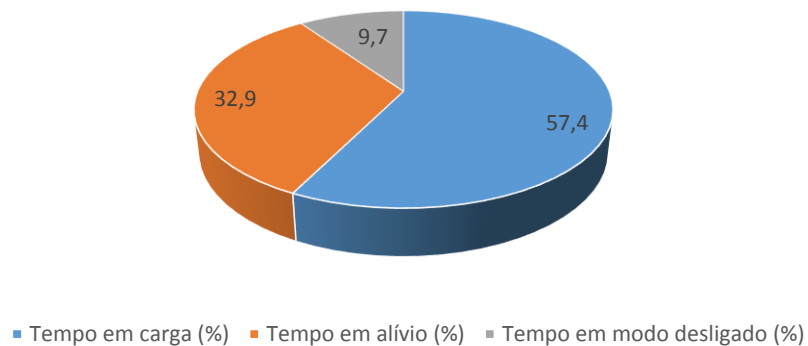


Figura 5.6 - Distribuição do modo de funcionamento do compressor GA 110 kW.

No mesmo *software* MATLAB foram calculadas as necessidades de ar comprimido da empresa por forma a analisar as possíveis vantagens decorrentes da substituição de um destes compressores por um compressor VEV. Na figura 5.7 e na figura 5.8 observa-se, a vermelho, a quantidade de ar comprimido produzido entre o último ponto de alívio e o último ponto de carga.

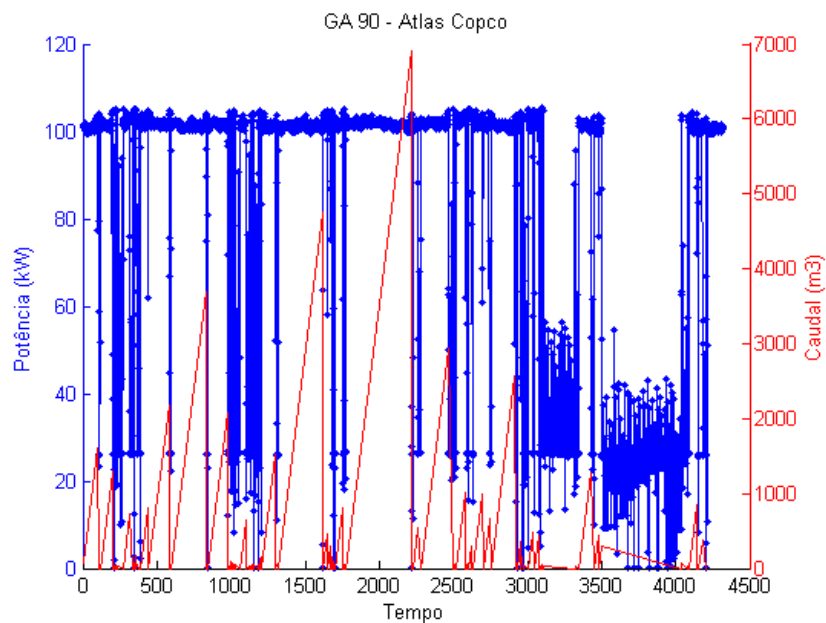


Figura 5.7 - Ar comprimido produzido pelo compressor GA 90 kW.

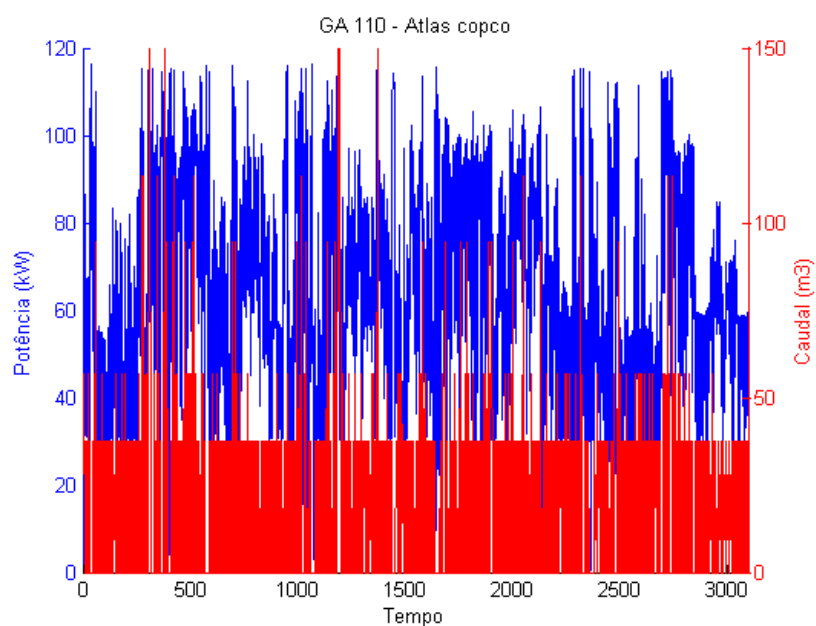


Figura 5.8 - Ar comprimido produzido pelo compressor GA 110 kW.

Assim, para o GA 90 kW em que a produção média de ar comprimido é de 15,66 m³/min, seria necessário um compressor VEV com produção de ar comprimido superior a esta média, para que quando as necessidades na empresa fossem superiores a 15,66 m³/min, o compressor de VEV continuasse em funcionamento até que o compressor de 90 kW começasse a trabalhar ao seu potencial máximo. Com o objetivo de se obter uma pressão constante ao longo do dia, como se observa na figura 5.10. Assim, o compressor VEV não necessitaria de desligar e começaria a compensar as necessidades existentes, como se poderá ver na figura 5.9.

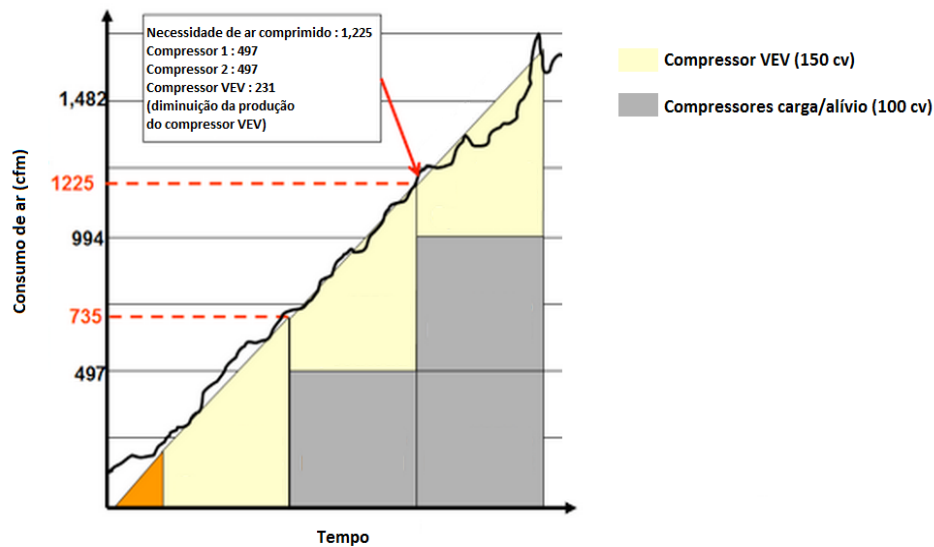


Figura 5.9 - Controle da produção de ar comprimido com um compressor VEV numa instalação com multi-compressores [40].

A possibilidade de colocar um compressor VEV com uma potência nominal igual à do compressor de 90 kW não seria favorável, visto que estes entrariam em “conflito”, ou seja, quando as necessidades excedessem a capacidade de produção do compressor VEV, o compressor de 90 kW iria ligar, colocando o compressor VEV a produzir menos ar comprimido, no entanto se esta situação fosse temporária, iríamos ter o compressor de 90 kW em ciclos contínuos de carga/alívio, figura 5.11, o que não é pretendido.

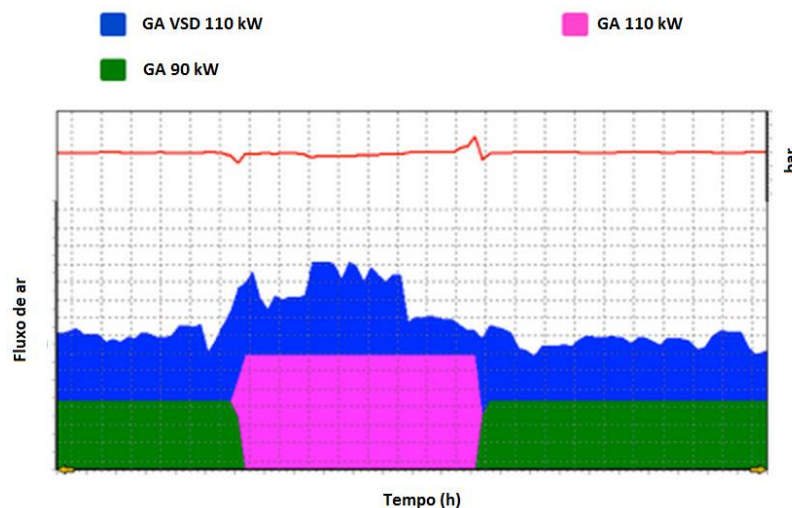


Figura 5.10 - Funcionamento teórico diário possível na empresa Love Tiles [40].

Seria então necessário o compressor GA 110 VSD, com as características presentes na tabela 5.15.

Tabela 5.15 - Características do compressor de velocidade eletrônica variável.

| Dados do Compressor | GA110 VSD 8.5 |
|---------------------|---------------|
| FAD (l/s) | 93 - 369 |
| Potência (kW) | 110 |

O preço estimado para este novo compressor, incluindo a retoma de um dos compressores de 110 kW, será de 60000 €. Assim, com a poupança anterior referida de 15905,76 €, seria possível obter-se um retorno do investimento em 3 anos e 9 meses.

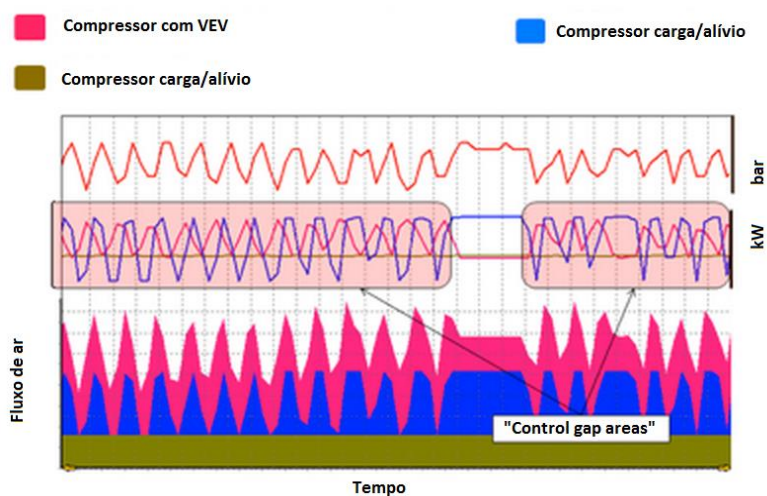


Figura 5.11 - Compressor VEV e um compressor em carga/alívio com a mesma potência nominal [40].

5.3 Motores

Para a análise energética foi utilizado o mesmo analisador de energia “Fluke 1735”. Este instrumento irá servir de suporte para os métodos utilizados para calcular a carga média a que o motor está sujeito, bem como o seu rendimento.

Numa primeira abordagem foi utilizada a câmara termográfica “Fluke Ti10”, para perceber a que temperaturas é que os motores se encontravam, e desta forma perceber se a carga que estava associada a esse motor era baixa, média ou se este estava em sobrecarga, sendo estas as únicas possibilidades de análise através de uma câmara termográfica. Nas imagens do anexo 3, pode-se observar que há motores em que a sua carga é relativamente baixa, sendo que a temperatura máxima dos motores varia entre 30 e 40 °C. Observou-se, também que existem outros motores em que a carga estará próxima do valor ideal, em que a temperatura máxima ronda os 60/70 °C.

Para melhor perceber a carga a que estes motores estão sujeitos foram aplicados três métodos diferentes:

- **Método 1 (Deslizamento compensado pela tensão)** – Para este método utilizou-se um tacómetro para medir as rotações a que o motor estava a trabalhar. Para tal foi considerada a média entre o valor mínimo e o máximo lido no tacómetro. Utilizando a relação dada pela equação (5.3) [47], é possível calcular a carga a que o motor estava sujeito quando a medição foi efetuada.

$$C = \frac{S_S - S}{(S_S - S_R) * \left(\frac{V_R}{V}\right)^2} * 100 (\%) \quad (5.3)$$

Em que,

$$S_S = \frac{120 * f}{N} \quad (5.4)$$

- **Método 2 (Razão da corrente compensada pela tensão)** – Este método tem como base a utilização da tensão média das três fases medidas, bem como a corrente média das três fases. Assim, a carga pode ser calculada através da equação (5.5) [47].

$$C = \frac{I}{I_R} * \frac{V}{V_R} * 100 \quad (5.5)$$

- **Método 3** – Este método tem por base a equação (2.5) [47], na qual é utilizado o quociente entre a potência mecânica e a potência presente na chapa de características do motor.

Como a carga total associada a cada motor encontra-se sempre abaixo do limite e apresenta variações ao longo do tempo, foi utilizada a seguinte equação (5.6) para o cálculo do rendimento do motor para cada valor de corrente e de tensão [48]:

$$\eta = \left\{ \frac{1 - \left(\frac{1}{\eta_t} - 1 \right) * P_{chapa} * \left[0,3 * \left(\frac{V}{V_R} \right)^2 + 0,7 * \left(\frac{VI}{V_R I_R} \right)^2 \right]}{P_{medida}} \right\} [\%] \quad (5.6)$$

5.3.1 Cálculo de carga média

Os valores medidos pelo método 1 utilizando o tacómetro estão representados na tabela 5.16. Foi utilizada a equação (5.3) para o cálculo da carga pelo método 1.

Tabela 5.16 - Valores obtidos através da medição com o tacómetro.

| Tanque | Motor | Rotações (rpm) | | |
|----------|-------|----------------|--------|--------|
| | | Mínimo | Máximo | Médio |
| Porosa 1 | ABR20 | 1463 | 1468 | 1465,5 |
| | ABR19 | 1466 | 1467 | 1466,5 |
| Porosa 2 | ABR30 | 1477 | 1478 | 1477,5 |
| | ABR27 | 1477 | 1479 | 1478 |
| Porosa 3 | ABR23 | 1460 | 1464 | 1462 |
| | ABR24 | 1457 | 1459 | 1458 |
| Porosa 4 | ABR32 | 1457 | 1459 | 1458 |
| | ABR26 | 1450 | 1454 | 1452 |
| Grés 1 | ABR2 | 1492 | 1493 | 1492,5 |
| | ABR1 | 1486 | 1491 | 1488,5 |
| Grés 2 | ABR4 | 1483 | 1484 | 1483,5 |
| | ABR3 | 1484 | 1486 | 1485 |
| Grés 3 | ABR6 | 1487 | 1488 | 1487,5 |
| | ABR5 | 1493 | 1494 | 1493,5 |
| Grés 4 | ABR7 | 1475 | 1477 | 1476 |
| | ABR8 | 1475 | 1477 | 1476 |
| Grés 5 | ABR9 | 1469 | 1473 | 1471 |
| | ABR10 | 1479 | 1481 | 1480 |
| Grés 6 | ABR28 | 1453 | 1458 | 1455,5 |
| | ABR12 | 1473 | 1476 | 1474,5 |
| ATM-P | ABR14 | 1468 | 1472 | 1470 |
| | ABR13 | 1464 | 1468 | 1466 |
| ATM-G | ABR15 | 1484 | 1486 | 1485 |
| | ABR16 | 1478 | 1480 | 1479 |

Para o método 2 foram utilizados os valores obtidos a partir do analisador de energia. O cálculo da carga através do método 3 teve associado o cálculo da eficiência a que cada motor se encontrava, ou seja, este método congrega a equação (2.5) e a equação (5.6).

Na tabela 5.17, pode-se ver os valores obtidos para estes três métodos. Estes valores serão a base de estudo para uma possível melhoria na eficiência energética dos motores.

Tabela 5.17 - Valores para a carga média usando os três métodos.

| | | Cálculo da carga média (%) | | |
|---------------|--------------|-----------------------------------|----------|----------|
| | | Método | | |
| Tanque | Motor | 1 | 2 | 3 |
| P.1 | ABR.20 | 63,11 | 53,82 | 42,75 |
| | ABR.19 | 51,16 | 53,58 | 36,18 |
| P.2 | ABR.30 | 63,74 | 36,39 | 43,47 |
| | ABR.27 | 94,48 | 35,33 | 53,70 |
| P.3 | ABR.23 | 67,08 | 61,62 | 36,43 |
| | ABR.24 | 89,32 | 67,31 | 88,59 |
| P.4 | ABR.32 | 71,19 | 67,03 | 78,32 |
| | ABR.26 | 90,80 | 77,08 | 86,54 |
| G.1 | ABR.02 | 62,83 | 11,80 | 56,17 |
| | ABR.01 | 56,62 | 18,02 | 38,80 |
| G.2 | ABR.04 | 77,34 | 27,03 | 50,25 |
| | ABR.03 | 70,08 | 23,22 | 47,07 |
| G.3 | ABR.06 | 66,52 | 20,18 | 42,50 |
| | ABR.05 | 59,21 | 10,68 | 51,08 |
| G.4 | ABR.07 | 58,11 | 38,82 | 36,81 |
| | ABR.08 | 73,91 | 38,93 | 45,84 |
| G.5 | ABR.09 | 75,80 | 47,32 | 34,05 |
| | ABR.10 | 64,69 | 31,86 | 42,35 |
| G.6 | ABR.28 | 67,92 | 70,44 | 44,17 |
| | ABR.12 | 68,59 | 40,25 | 47,47 |
| ATM-P | ABR.14 | 85,12 | 47,10 | 62,45 |
| | ABR.13 | 82,30 | 53,07 | 62,36 |
| ATM-G | ABR.15 | 56,34 | 23,84 | 41,11 |
| | ABR.16 | 61,04 | 33,88 | 45,82 |

Apesar da carga média ter sido analisada por três métodos diferentes, o método 1 e o método 2 necessitam de uma análise mais cuidada, que será discutida de seguida.

No caso do método 1, a precisão deste é bastante limitada. A incerteza deste método está relacionada com a precisão do valor da velocidade em plena carga que está contida na placa de características do motor. A NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*, organização que estipula normas de construção de motores por forma a estes terem um padrão definido), permite aos fabricantes uma tolerância de 20 % no valor que apresentam para a velocidade do motor em plena carga na chapa de características [47][49]. Este método por possuir um grau de incerteza elevado, não será utilizado para a nossa análise futura dos motores.

O método 2 só poderá ser utilizado para valores de carga superiores a 70 % porque como se pode ver pela figura 5.12, só a partir deste valor, a relação entre a carga total e a corrente é aproximadamente linear. Para valores de carga inferiores a 70 % o comportamento degrada-se devido às necessidades de magnetização reativa da corrente que provoca uma diminuição no fator de potência, aumentando assim o comportamento não-linear da relação entre a carga total e corrente [47]. No entanto este método carece de duas condições:

- A tensão aplicada deve ser $\pm 5\%$ do valor presente na chapa de características do motor.
- O valor de corrente medido deve ser inferior ao valor da corrente presente na chapa de características do motor.

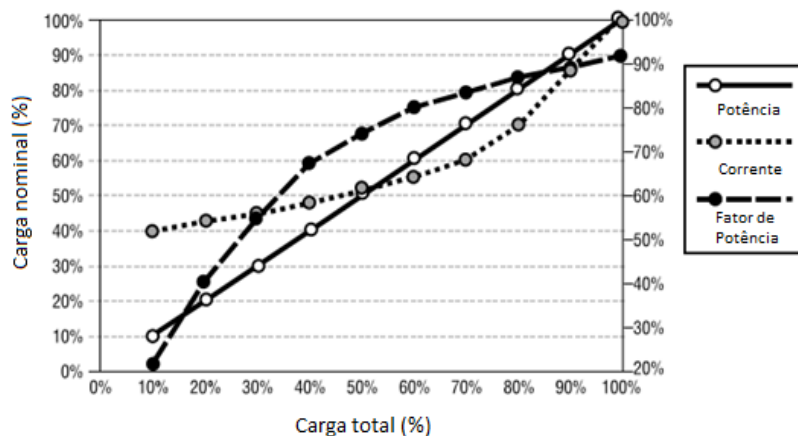


Figura 5.12 - Relação entre potência, corrente, fator de potência e carga do motor [47].

Os métodos 1 e 2, sendo limitados para a análise que se pretende, não deixam no entanto de serem métodos que permitem uma leitura fácil e rápida do comportamento dos motores.

Assim apenas será utilizado para futura análise o método 3. Os desvios médios entre o método 3 e o método 1 ascendem a 17 %, e entre o método 3 e o método 2 ronda os 20 %.

5.3.2 Análise energética e económica

A posterior análise será dividida por tanques (porosa e grés), em que cada tanque possui dois motores IE1. Serão apresentados os valores de eficiência média, carga média, consumo anual. Será apresentada uma proposta de um motor novo para a substituição do antigo, a eficiência deste, o consumo previsível e o retorno do investimento. Os valores considerados para a eficiência dos motores IE1 foram retirados do catálogo W22 da WEG [50].

Foram pedidos orçamentos para os novos motores à empresa WEG, que nos disponibilizou os preços que estão apresentados na tabela 5.18 e no anexo 2.

Tabela 5.18 - Orçamento disponibilizado pela WEG.

| Preço dos motores (€) | | | | | |
|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------|---------------------------|---------------|
| Potência nominal - 3 kW | | Potência nominal - 4 kW | | Potência nominal - 5,5 kW | |
| IE2 – 4 polos | IE3 – 4 polos | IE2 – 4 polos | IE3 – 4 polos | IE2 – 4 polos | IE3 – 4 polos |
| 182,00 € | 210,00 € | 202,73 € | 234,98 € | 267,23 € | 300,00 € |

Tanque Porosa 1

Na tabela 5.19, observa-se que ambos os motores possuem uma carga média abaixo do recomendado [47]. Estes motores encontram-se sobredimensionados para a função que desempenham. É proposta a substituição do motor ABR19 de potência nominal 7,5 kW por um motor de potência nominal 4 kW (IE3), em que iríamos obter uma carga média de 67,84 %. Tendo em conta que o preço do motor IE3 será de 234,98 €, o *payback* irá ser de 2,16 anos. Para o motor ABR20 de potência nominal de 5,5 kW é proposta a mudança para um motor de potência nominal de 3 kW (IE3), visto que a carga média passará de 42,75 % para 78,37 %. Apesar do preço de um motor IE3 ser maior que um motor IE2, este representa uma poupança maior, em que se obterá um *payback* de 1,97 anos.

Tabela 5.19 - Motores dos agitadores do tanque de porosa 1.

| Motor | ABR 19 – 7,5 kW | | ABR 20 - 5,5 kW | |
|------------------------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| Eficiência média (%) | 82,42 | | 80,81 | |
| Carga média (%) | 36,18 | | 42,75 | |
| Consumo anual (kWh) | 14222,86 | | 12567,86 | |
| Novo motor (kW) | 4 | | 3 | |
| TIPO | IE 2 | IE 3 | IE 2 | IE 3 |
| Eficiência (%) | 86,44 | 88,95 | 85,60 | 88,00 |
| Consumo anual Alterado (kWh) | 13561,07 | 13178,41 | 11865,16 | 11541,57 |
| Redução (%) | 4,65 | 7,34 | 5,59 | 8,17 |
| Poupança anual (€) | 68,83 | 108,62 | 73,08 | 106,73 |
| Retorno (anos) | 2,95 | 2,16 | 2,49 | 1,97 |

Tanque Porosa 2

Para este caso é proposto, a substituição do motor ABR30 com potência nominal de 7,5 kW para um motor IE3 com potência nominal de 4 kW, em que se obterá um aumento de 6,42 % na eficiência média do motor e a carga média passará a ser 81,51 %, encontrando-se ainda no intervalo ideal de funcionamento de um motor. Para o motor ABR27 com potência nominal de 5,5 kW, propõe-se a mudança deste por um motor IE3 com potência nominal de 4 kW. Com esta mudança será possível obter-se uma poupança anual de 230,59 €, aumentando a eficiência para 89,04 % e a carga média para 73,83 %, atingindo-se assim um *payback* de 1,84 anos para o primeiro caso e 1,02 anos para o segundo, como podemos ver na tabela 5.20

Tabela 5.20 - Motores dos agitadores do tanque de porosa 2.

| Motor | ABR 30 – 7,5 kW | | ABR 27 - 5,5 kW | |
|------------------------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| Eficiência média (%) | 82,68 | | 77,11 | |
| Carga média (%) | 43,47 | | 53,70 | |
| Consumo anual (kWh) | 17036,88 | | 16546,04 | |
| Novo motor (kW) | 4 | | 4 | |
| TIPO | IE 2 | IE 3 | IE 2 | IE 3 |
| Eficiência (%) | 86,70 | 89,10 | 86,60 | 89,04 |
| Consumo anual Alterado (kWh) | 16246,07 | 15808,47 | 14732,51 | 14328,79 |
| Redução (%) | 4,64 | 7,21 | 10,96 | 13,40 |
| Poupança anual (€) | 82,24 | 127,75 | 188,61 | 230,59 |
| Retorno (anos) | 2,46 | 1,84 | 1,07 | 1,02 |

Tanque Porosa 3

Ao contrário dos anteriores motores de 5,5 kW que possuem uma carga média entre 40 e 52 %, o ABR24 possui uma carga média de 88,59 %. Esta diferença de cargas entre os motores poderá prender-se com o facto da póli do ABR24 ser de 12,5 cm ao contrário dos restantes motores que têm pólis de 11 cm. Para este tanque, propõe-se a substituição do motor ABR23 (IE1) por um motor IE3 com potência nominal de 3 kW, aumentando-se assim a eficiência média para 88,00 % e a carga média para 91,08 %. No caso do motor ABR24 (IE1) é possível substituir-se este por um motor com a mesma potência nominal mas de eficiência superior (IE3), mantendo-se assim a mesma carga média mas aumentando-se a eficiência em 5,02 %. Com estas medidas e tendo em conta o investimento nos novos motores, iremos obter um payback de 1,08 e 2,12 anos, respetivamente, em cada motor. Um resumo destes dados pode ser visto na tabela 5.21.

Tabela 5.21 - Motores dos agitadores do tanque de porosa 3.

| Motor | ABR 23 – 7,5 kW | | ABR 24 - 5,5 kW | |
|------------------------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| Eficiência média (%) | 77,23 | | 85,68 | |
| Carga média (%) | 36,43 | | 88,59 | |
| Consumo anual (kWh) | 15284,19 | | 24568,49 | |
| Novo motor (kW) | 3 | | 5,5 | |
| TIPO | IE 2 | IE 3 | IE 2 | IE 3 |
| Eficiência (%) | 85,60 | 88,00 | 88,10 | 90,70 |
| Consumo anual Alterado (kWh) | 13790,33 | 13414,23 | 23892,88 | 23207,97 |
| Redução (%) | 9,77 | 12,23 | 2,75 | 5,54 |
| Poupança anual (€) | 155,36 | 194,48 | 70,26 | 141,49 |
| Retorno (anos) | 1,17 | 1,08 | 3,80 | 2,12 |

Tanque Porosa 4

Ao contrário dos tanques analisados anteriormente, este tanque conta com dois motores de potência nominal de 5,5 kW. Ambos contam com uma carga média superior aos anteriores, no entanto apenas o motor ABR 26 possui uma poli de 12,5 cm, o que contribui para um maior consumo energético devido ao aumento da carga média.

Assim na tabela 5.22 é proposta a mudança de ambos os motores (IE1) para motores da mesma potência nominal mas com maior eficiência (IE3), obtendo-se uma melhoria na eficiência mantendo-se a mesma carga média, que se irá traduzir num *payback* de 1,93 anos para o ABR26 e 1,66 anos para o ABR32.

Tabela 5.22 - Motores dos agitadores do tanque de porosa 4.

| Motor | ABR 26 – 5,5 kW | | ABR 32 - 5,5 kW | |
|------------------------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| Eficiência média (%) | 85,09 | | 83,62 | |
| Carga média (%) | 86,54 | | 78,32 | |
| Consumo anual (kWh) | 24164,23 | | 22254,89 | |
| Novo motor (kW) | 5,5 | | 5,5 | |
| TIPO | IE 2 | IE 3 | IE 2 | IE 3 |
| Eficiência (%) | 88,10 | 90,70 | 88,10 | 90,70 |
| Consumo anual Alterado (kWh) | 23338,94 | 22669,91 | 21123,63 | 20518,10 |
| Redução (%) | 3,42 | 6,18 | 5,08 | 7,80 |
| Poupança anual (€) | 85,83 | 155,41 | 117,65 | 180,63 |
| Retorno (anos) | 3,11 | 1,93 | 2,27 | 1,66 |

Na figura 5.13, pode ver-se a variação do rendimento em função da carga aplicada a cada motor dos tanques de porosa. Para esta simulação foi utilizada a relação entre as equações (2.3), (2.5) e (5.4), onde é possível obter-se a relação do rendimento do motor em função da sua carga.

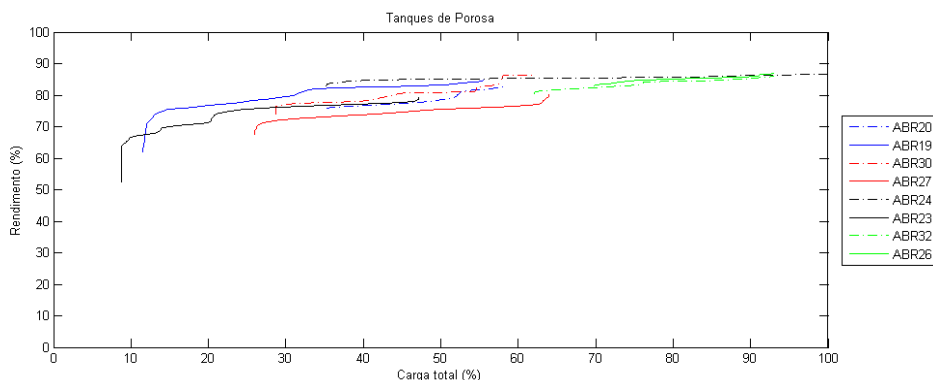


Figura 5.13 - Rendimento dos motores dos tanques de porosa em função da carga.

É possível observar que a maioria dos motores têm um comportamento semelhante ao das curvas teóricas da figura 5.14. Isto é, para cargas inferiores a 40 %, o rendimento dos motores decai exponencialmente.

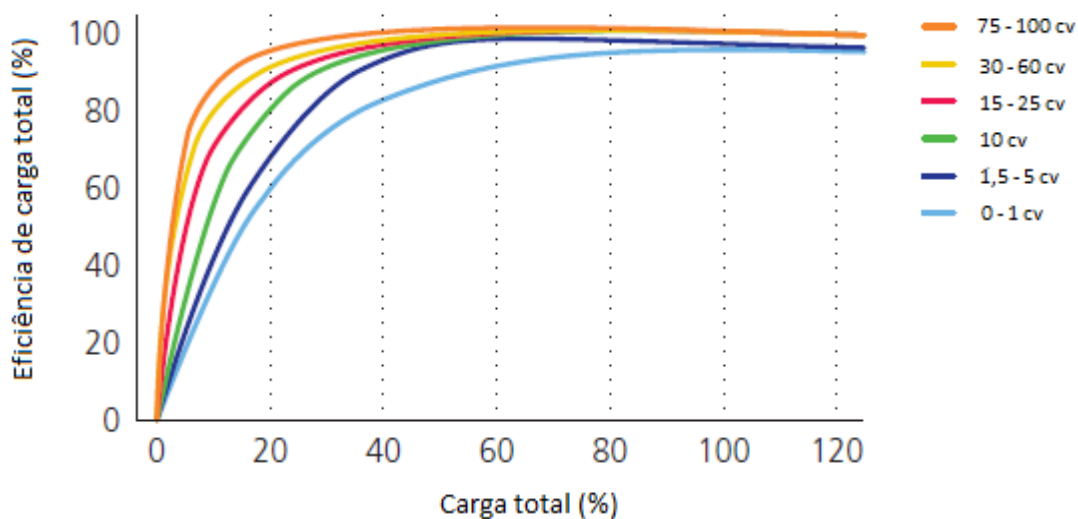


Figura 5.14 - Rendimento em função da carga total para várias potências nominais (valores teóricos) [51].

Tanque de Grés 1

Para este caso propôs-se a substituição do motor ABR1, que possui uma carga média muito abaixo da recomendada, para um novo motor de eficiência IE3 com potência nominal de 3 kW aumentando assim a carga média para 71,13 % e a eficiência para 87,76 %, obtendo-se assim um *payback* de 2,31 anos.

Para o motor ABR2, existe a possibilidade de o substituir por um motor IE3 com potência nominal de 4 kW. Aumenta-se a carga média para 77,23 % e a eficiência para 89,10 %. Com esta substituição irá ser possível ter um retorno do investimento em 3,13 anos, como se verifica pela tabela 5.23.

Tabela 5.23 - Motores dos agitadores do tanque de grés 1.

| Motor | ABR 1 – 5,5 kW | | ABR 2 - 5,5 kW | |
|------------------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Eficiência média (%) | 81,02 | | 85,01 | |
| Carga média (%) | 38,80 | | 56,17 | |
| Consumo anual (kWh) | 11376,84 | | 15699,11 | |
| Novo motor (kW) | 3 | | 4 | |
| TIPO | IE 2 | IE 3 | IE 2 | IE 3 |
| Eficiência (%) | 85,46 | 87,76 | 86,70 | 89,10 |
| Consumo anual Alterado (kWh) | 10786,27 | 10503,58 | 15392,66 | 14978,04 |
| Redução (%) | 5,19 | 7,68 | 1,95 | 4,59 |
| Poupança anual (€) | 61,42 | 90,82 | 31,87 | 74,99 |
| Retorno (anos) | 2,96 | 2,31 | 6,36 | 3,13 |

Tanque de Grés 2

Como se pode verificar na tabela 5.24 propõem-se a mudança de ambos os motores IE1 por motores IE3 com potência nominal 3 kW. Em ambos os casos aumenta-se a eficiência para 88 %, sendo este um aumento aproximadamente de 10% em ambos os casos. A carga média para o motor ABR3 irá passar a ser 86,29 % e para o motor ABR4 será 92,13 %. Com estas mudanças iremos ter poupanças de 123,70 € e 142,43 € respetivamente. Tendo em conta o investimento necessário, o *payback* para o novo motor ABR3 será 1,70 anos e para o novo motor ABR4 será 1,47 anos.

Tabela 5.24 - Motores dos agitadores do tanque de grés 2.

| Motor | ABR 3 – 5,5 kW | | ABR 4 - 5,5 kW | |
|------------------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Eficiência média (%) | 80,47 | | 79,93 | |
| Carga média (%) | 47,07 | | 50,25 | |
| Consumo anual (kWh) | 13898,03 | | 14937,70 | |
| Novo motor (kW) | 3 | | 3 | |
| TIPO | IE 2 | IE 3 | IE 2 | IE 3 |
| Eficiência (%) | 85,60 | 88,00 | 85,60 | 88,00 |
| Consumo anual Alterado (kWh) | 13064,95 | 12708,63 | 13948,56 | 13568,15 |
| Redução (%) | 5,99 | 8,56 | 6,62 | 9,17 |
| Poupança anual (€) | 86,64 | 123,70 | 102,87 | 142,43 |
| Retorno (anos) | 2,10 | 1,70 | 1,77 | 1,47 |

Tanque de Grés 3

Em semelhança com as análises anteriormente feitas, neste caso a substituição do motor ABR5 (IE1) por um motor (IE3) com potência nominal de 5,5 kW irá diminuir o consumo anual energético, traduzindo-se numa poupança de 75,63 € por ano. O *payback* será de 3,97 anos, como se verifica na tabela 5.25.

Para o caso do motor ABR6 é possível substituí-lo por um novo motor IE3 com uma potência nominal de 4 kW aumentando-se a eficiência aproximadamente em 8 % e a carga média aproximadamente 37 %.

Tabela 5.25 - Motores dos agitadores do tanque de grés 3.

| Motor | ABR 5 – 7,5 kW | | ABR 6 - 7,5 kW | |
|------------------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Eficiência média (%) | 87,05 | | 81,85 | |
| Carga média (%) | 51,08 | | 42,50 | |
| Consumo anual (kWh) | 19014,10 | | 16824,36 | |
| Novo motor (kW) | 5,5 | | 4 | |
| TIPO | IE 2 | IE 3 | IE 2 | IE 3 |
| Eficiência (%) | 88,07 | 90,51 | 86,70 | 89,10 |
| Consumo anual Alterado (kWh) | 18793,53 | 18286,89 | 15883,55 | 15455,71 |
| Redução (%) | 1,16 | 3,82 | 5,59 | 8,13 |
| Poupança anual (€) | 22,94 | 75,63 | 97,84 | 142,34 |
| Retorno (anos) | 11,65 | 3,97 | 2,07 | 1,65 |

Tanque de Grés 4

Como referido anteriormente, a substituição de ambos os motores IE1 por novos motores IE3 com potência nominal de 3 kW irá provocar uma poupança conjunta de 248,62 €, conseguindo-se alcançar um *payback* médio de 1,72 anos. Os valores estão representados na tabela 5.26.

Tabela 5.26 - Motores dos agitadores do tanque de grés 4.

| Motor | ABR 7 – 7,5 kW | | ABR 8 - 5,5 kW | |
|------------------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Eficiência média (%) | 81,68 | | 79,39 | |
| Carga média (%) | 36,81 | | 45,84 | |
| Consumo anual (kWh) | 14600,34 | | 13718,73 | |
| Novo motor (kW) | 3 | | 3 | |
| TIPO | IE 2 | IE 3 | IE 2 | IE 3 |
| Eficiência (%) | 85,60 | 88,00 | 85,60 | 88,00 |
| Consumo anual Alterado (kWh) | 13932,26 | 13552,29 | 12723,21 | 12376,21 |
| Redução (%) | 4,58 | 7,18 | 7,26 | 9,79 |
| Poupança anual (€) | 69,48 | 109,00 | 103,53 | 139,62 |
| Retorno (anos) | 2,62 | 1,93 | 1,76 | 1,50 |

Tanque de Grés 5

Os dois agitadores do tanque de grés 5 estão conectados a dois motores IE1, ambos com potência nominal 7,5 kW. Na tabela 5.27 podemos ver que estes estão sobredimensionados devido às baixas cargas médias que possuem. É importante considerar a modificação de ambos os motores por novos motores IE3 de potência nominal inferior.

Como referido anteriormente, para o motor ABR9 será possível substituí-lo por um novo motor IE3 de 3 kW de potência nominal. Obtendo-se um acréscimo de 13 % na eficiência e 51 % na carga média. Considerando o preço deste novo motor e a poupança prevista é possível alcançar um *payback* de 1,02 anos. Para o caso do motor ABR10, a substituição deste por um novo motor IE3 de 4 kW de potência nominal irá traduzir-se numa poupança anual de 129,74 € perfazendo um *payback* de 1,81 anos tendo por base o preço do motor 234,98 €.

Tabela 5.27 - Motores dos agitadores do tanque de grés 5.

| Motor | ABR 9 – 7,5 kW | | ABR 10 - 7,5 kW | |
|------------------------------|-----------------------|-------------|------------------------|-------------|
| Eficiência média (%) | 75,95 | | 82,42 | |
| Carga média (%) | 34,05 | | 42,35 | |
| Consumo anual (kWh) | 14523,74 | | 16647,44 | |
| Novo motor (kW) | 3 | | 4 | |
| TIPO | IE 2 | IE 3 | IE 2 | IE 3 |
| Eficiência (%) | 85,60 | 88,00 | 86,70 | 89,10 |
| Consumo anual Alterado (kWh) | 12887,24 | 12535,77 | 15826,24 | 15399,95 |
| Redução (%) | 11,27 | 13,69 | 4,93 | 7,49 |
| Poupança anual (€) | 170,20 | 206,75 | 85,40 | 129,74 |
| Retorno (anos) | 1,07 | 1,02 | 2,37 | 1,81 |

Tanque de Grés 6

Através da tabela 5.28, podemos ver que é possível substituir o motor ABR12 por um motor IE3 com 5,5 kW de potência nominal, sendo este o motor onde se obtém maior poupança anual comparado com o motor IE2. Considerando o preço do novo motor de 300 € é possível ter um retorno do investimento em 1,13 anos. Para o motor ABR28, o mesmo acontece, isto é, é possível substituí-lo por um motor IE3 de 4 kW de potência nominal, que se resume a uma poupança anual de 243,98 € e um *payback* de 0,96 anos.

Tabela 5.28 - Motores dos agitadores do tanque de grés 6.

| Motor | ABR 12 – 7,5 kW | | ABR 28 - 7,5 kW | |
|------------------------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| Eficiência média (%) | 78,55 | | 77,75 | |
| Carga média (%) | 47,47 | | 44,17 | |
| Consumo anual (kWh) | 19578,96 | | 18408,74 | |
| Novo motor (kW) | 5,5 | | 4 | |
| TIPO | IE 2 | IE 3 | IE 2 | IE 3 |
| Eficiência (%) | 88,05 | 90,35 | 86,70 | 89,10 |
| Consumo anual Alterado (kWh) | 17467,32 | 17022,66 | 16507,40 | 16062,75 |
| Redução (%) | 10,79 | 13,06 | 10,33 | 12,74 |
| Poupança anual (€) | 219,61 | 265,86 | 197,74 | 243,98 |
| Retorno (anos) | 1,22 | 1,13 | 1,03 | 0,96 |

Em conformidade com a análise previamente feita, na figura 5.15, podemos observar que o rendimento dos motores deteriora-se para cargas totais inferiores a 40%. No entanto apresentam um comportamento idêntico ao teórico presente na figura 5.14.

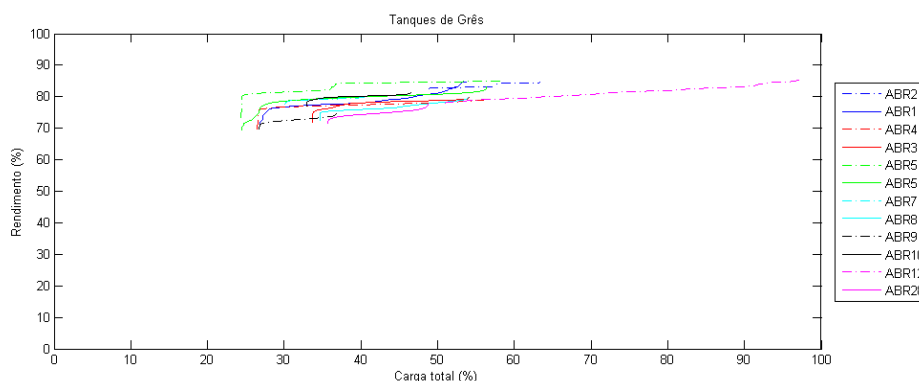


Figura 5.15 - Rendimento dos motores dos tanques de grés em função da carga.

Tanques de alimentação do atomizador (Porosa e Grés)

Na empresa Love Tiles existem dois tanques que alimentam o atomizador, um de porosa e outro de grés. Quando existe a necessidade de atomizar a barbotina, os tanques anteriormente estudados enviam a barbotina para estes tanques que posteriormente irão alimentar o atomizador. Nestes dois tanques foi também feito o estudo dos consumos dos motores associados aos agitadores e foram propostas soluções para os mesmos.

Tanque de alimentação do atomizador (Porosa)

Em ambos os casos foi considerada a possibilidade de substituição por novos motores IE3 com potência nominal de 4 kW (tabela 5.29). As poupanças anuais são de 149,71 € e 152,86 € e os aumentos de eficiência são aproximadamente 7 %, obtendo-se assim, para ambos os casos, um *payback* aproximadamente igual: 1,57 anos para o motor ABR13 e 1,54 anos para o motor ABR14.

Tabela 5.29 - Motores dos agitadores do tanque de porosa (atomizador).

| Motor | ABR 13 – 5,5 kW | | ABR 14 - 5,5 kW | |
|------------------------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| Eficiência média (%) | 82,00 | | 81,87 | |
| Carga média (%) | 62,36 | | 62,45 | |
| Consumo anual (kWh) | 18069,47 | | 18124,19 | |
| Novo motor (kW) | 4 | | 4 | |
| TIPO | IE 2 | IE 3 | IE 2 | IE 3 |
| Eficiência (%) | 86,70 | 89,10 | 86,70 | 89,10 |
| Consumo anual Alterado (kWh) | 17090,34 | 16629,99 | 17115,39 | 16654,37 |
| Redução (%) | 5,42 | 7,97 | 5,57 | 8,11 |
| Poupança anual (€) | 101,83 | 149,71 | 104,91 | 152,86 |
| Retorno (anos) | 1,99 | 1,57 | 1,93 | 1,54 |

Na figura 5.16 podemos ver o comportamento dos motores presentes no tanque de porosa na zona do atomizador e, como esperado, o rendimento decai em função da diminuição da carga total presente.

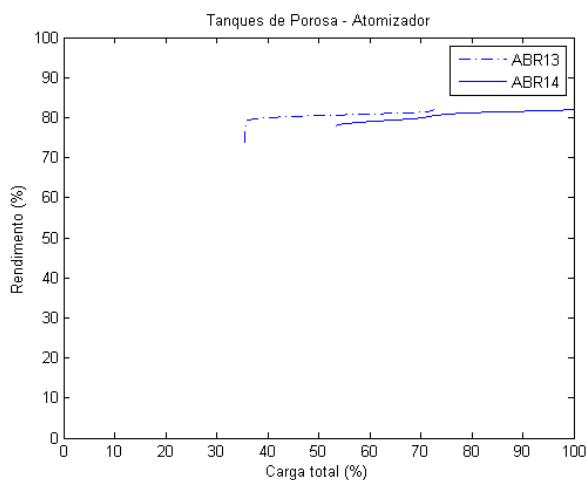


Figura 5.16 - Rendimento em função da carga total no tanque de porosa (atomizador).

Tanque de alimentação do atomizador (Grés)

Este tanque de fornecimento de grés para o atomizador é constituído por dois motores IE1 de 7,5 kW de potência nominal, tabela 5.30. Estes também se encontram sobredimensionados, sendo importante a diminuição da potência instalada. Para ambos os casos é proposta a substituição por novos motores IE3 de potência nominal de 4 kW. Se

se considerar o preço dos motores e as suas poupanças associadas, iremos obter um retorno de investimento de 2,38 anos para o motor ABR15 e de 2,32 anos para o motor ABR16.

Tabela 5.30 - Motores dos agitadores do tanque de grés (atomizador).

| Motor | ABR 15 – 7,5 kW | | ABR 16 - 7,5 kW | |
|------------------------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| Eficiência média (%) | 83,77 | | 84,18 | |
| Carga média (%) | 41,11 | | 45,82 | |
| Consumo anual (kWh) | 15900,15 | | 17635,06 | |
| Novo motor (kW) | 4 | | 4 | |
| TIPO | IE 2 | IE 3 | IE 2 | IE 3 |
| Eficiência (%) | 86,70 | 89,10 | 86,70 | 89,10 |
| Consumo anual Alterado (kWh) | 15362,82 | 14949,00 | 17123,48 | 16662,24 |
| Redução (%) | 3,38 | 5,98 | 2,90 | 5,52 |
| Poupança anual (€) | 55,88 | 98,92 | 53,20 | 101,17 |
| Retorno (anos) | 3,63 | 2,38 | 3,81 | 2,32 |

De acordo com a figura 5.16, os motores presentes no tanque de grés na zona do atomizador apresentam um comportamento semelhante, isto é, o seu rendimento diminui em função da carga total aplicada a cada motor (figura 5.17).

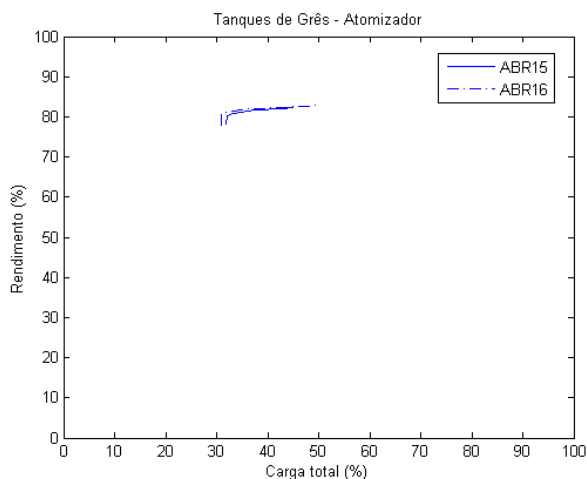


Figura 5.17 - Rendimento em função da carga total no tanque de grés (atomizador).

Em suma, a tabela 5.31 dá-nos a informação sobre o investimento total, a poupança total por cada ano, o retorno do investimento, bem como a poupança energética para os motores com ambas eficiências, sendo que o que será adotado como “melhor” investimento serão os motores IE3.

Tabela 5.31 - Sumário do tratamento de dados sobre os motores.

| Eficiência do motor | IE 2 | IE 3 |
|-----------------------------|-------------|-------------|
| Investimento | 5022,18 | 5764,78 |
| Poupança anual (€) | 2407,24 | 3493,23 |
| Retorno (anos) | 2,82 | 1,84 |
| Poupança anual (kWh) | 23146,58 | 33588,71 |
| Poupança anual (tep) | 4,98 | 7,22 |

Escolhendo como “melhor” opção os motores IE 3, uma vez que com um investimento inicial de 5764,78 € (13 % superior se se tivesse escolhido IE2) obtém-se uma poupança anual de 3493,23 € (31 % superior se se tivesse escolhido IE2). Assim, o tempo de retorno dos motores de IE3 será 1,84 anos com uma redução de 7,22 tep/ano, que é dada pela equação (5.1).

6 Conclusão

6.1 Considerações gerais

No decorrer da crise económica, acompanhada pelo aumento do custo energético, o desenvolvimento de novas tecnologias será uma realidade que permitirá a diminuição de energia consumida, através do aumento da eficiência energética dos vários elementos consumidores de energia.

Na indústria cerâmica existe um potencial de redução de consumos energéticos, no entanto, este potencial não está a ser aproveitado na sua totalidade.

Com esta dissertação pretendeu-se efetuar o estudo de medidas de eficiência energética aplicáveis à empresa em estudo, com a finalidade de reduzir os seus consumos energéticos sem afetar a produção, ou seja, economizar energia através do uso mais eficiente desta.

Apesar de esta dissertação ser focalizada na empresa Love Tiles, as soluções apresentadas poderão servir de base para toda a indústria que procure soluções para a diminuição do seu consumo energético.

Tendo em conta as tecnologias presentes para a iluminação no início do estudo e a mudança de tecnologia para lâmpadas T5, bem como, as mudanças de balastros ferromagnéticos para balastros eletrónicos, foi possível diminuir 24,49 % do consumo inicial presente nos locais estudados.

Para os compressores, com a substituição da tecnologia presente na empresa (GA 110 kW) para uma mais recente, compressor VEV, será possível diminuir 14,34 % do consumo inicial presente pelos compressores.

Relativamente aos motores existentes na empresa de eficiência IE1, a substituição destes por motores mais eficientes (IE3), com potências nominais iguais (ABR24, ABR26 e ABR 32) ou inferiores (restantes), será possível obter-se uma redução de consumo energético de 12,97 %.

Para efetuar todas as mudanças será necessário um investimento inicial de 83061,25 € que proporcionará uma poupança anual estimada de 35112,11 €. Assim, o retorno médio esperado será 2,37 anos. Tendo em conta o programa SGCIE, estas medidas seriam de implementação imediata.

Para os indicadores de intensidade energética e consumo específico de energia foi possível diminuir 0,74 % relativamente ao valor do ano 2012. Relativamente à intensidade carbónica o valor reduziu-se em 0,001 %. As emissões de GEE reduziram-se em 158,66 ton_{CO2}/ano.

6.2 Trabalhos futuros

No decorrer do trabalho foram identificadas oportunidades para trabalhos futuros. Seria importante estudar a possibilidade da aplicação de um permutador de calor ar-ar entre os gases de exaustão dos fornos e o ar atmosférico, e inserir este ar a maior temperatura nos secadores, reduzindo o consumo de gás natural utilizado para elevar a temperatura do ar ambiente até a uma temperatura média de 120 °C.

Existe ainda a possibilidade de aplicação de variadores eletrónicos de velocidade em quatro motores de 44/66 kW presentes na empresa, acoplados a agitadores industriais, desta forma seria possível reduzir a velocidade de rotação dos motores por forma a diminuir os consumos energéticos associados a estes.

7 Bibliografia

- [1] B. Group, "BP Statistical Review of World Energy. June 2013," *Nuclear Energy*, 2013. [Online]. Disponível: http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf. [Acedido: 21-Maio-2014].
- [2] IEA, "World Energy Outlook 2013," 2013. [Online]. Disponível: http://www.iea.org/newsroomandevents/speeches/131112_WEO2013_Presentation.pdf. [Acedido: 21-Maio-2014].
- [3] N. K. Prof. P. Capros, Dr. L. Mantzos, N. Tasios, A. De Vita, "EU energy trends to 2030 — UPDATE 2009," 2009.
- [4] European Commission, "Taking stock of the Europe 2020 strategy for smart, sustainable and inclusive growth," 19/03/2014, 2014. [Online]. Disponível: http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/europe2020stocktaking_en.pdf. [Acedido: 21-Maio-2014].
- [5] J. Chontanawat, L. C. Hunt, and R. Pierse, "Does energy consumption cause economic growth?: Evidence from a systematic study of over 100 countries," *J. Policy Model.*, vol. 30, no. 2, pp. 209–220, Mar. 2008.
- [6] República Portuguesa, "Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013," *Diário da República*, vol. 70, 2013.
- [7] DGEG, "Estatísticas e Preços-Balanços e Indicadores Energéticos," 2012.
- [8] APICER, "Promoção do empreendedorismo e da criação de empresas com maior valor acrescentado," 2012.
- [9] ADENE. IAPMEI. LNEG, "Estratégia de eficiência energética em PME." 2012.
- [10] BP, "BP Energy Outlook 2035 - Fact Sheet." [Online]. Disponível: http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/Energy-Outlook/Energy_Outlook_insights_2035.pdf. [Acedido: 22-Maio-2014].
- [11] BP, "Energy Outlook 2035 - Excel Tables," 2013.
- [12] E. C. Foundation, "Roadmap 2050, A practical guide to a prosperous, low-carbon Europe.," 2011. [Online]. Disponível: http://www.roadmap2050.eu/attachments/files/Volume1_fullreport_PressPack.pdf. [Acedido: 22-Maio-2014].
- [13] DGEG, "Balanço Energético - Sintético 2012," 2013.
- [14] I. P. Agência Portuguesa do Ambiente, "Relatório do Estado do Ambiente 2013," 2013.
- [15] República Portuguesa, "Decreto-Lei n.º 71/2008," *Diário da República*, vol. 74, 2008.
- [16] APICER, "Guia de Boas Práticas de Gestão estratégica na indústria cerâmica europeia," 2012.
- [17] V. Magueijo, M. C. Fernandes, H. A. Matos, C. P. Nunes, J. P. Calau, J. Carneiro, and F. Oliveira, "Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa : Um Enquadramento Tecnológico Sucinto," 2010.
- [18] P. Waide and Satoshi Tanishima, "Light's Labour's Lost - Policies for Energy-efficient Lighting," 2006.

- [19] J. Luz, "Luminotecnica." [Online]. Disponível: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf>. [Acedido: 09-Jun-2014].
- [20] Philips, "Lâmpadas," 2012. [Online]. Disponível: http://www.lighting.philips.com.br/connect/support/faq_lampadas.wpd. [Acedido: 24-Jun-2014].
- [21] European Commission, "Phasing out incandescent bulbs in the EU - Technical briefing," 2008.
- [22] Phillips, "Energy efficient lighting - A summary of 'Green Switch' facts," 2008.
- [23] NSW Government, "Energy efficient lighting - Technology report," *Office of Environment and Heritage*, 2012. [Online]. Disponível: <http://www.environment.nsw.gov.au/resources/sustainbus/120434EnEffLight.pdf>. [Acedido: 24-Jun-2014].
- [24] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, "Light and lighting – Lighting of work places - Part 1: Indoor work places," 2002.
- [25] P. Waide and C. u. Brunner, "Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems," 2011. [Online]. Disponível: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name-3981-en.html> [Acedido: 24-Jun-2014].
- [26] R. Saidur, "A review on electrical motors energy use and energy savings," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 3, pp. 877–898.
- [27] Comissão Europeia, "Regulamento (CE) N.º 640/2009," *J. Of. da União Eur.*, 2009.
- [28] H. Beaty and J. Kirtley, *Electric Motor Handbook*. New York: McGraw-Hill, 1998.
- [29] G. Carvalho, *Máquinas Elétricas - Teoria e Ensaios*, 4ª edição. São Paulo, 2011.
- [30] WEG, "Manual para Correção do Fator de Potência." [Online] Disponível: <http://pessoal.utfpr.edu.br/cesarbenitez/download.php?arquivo=Analise2/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-manual-portugues-br.pdf> [Acedido: 24-Jun-2014].
- [31] R. Saidur, N. A. Rahim, and M. Hasanuzzaman, "A review on compressed-air energy use and energy savings," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 4, pp. 1135–1153, Maio 2010.
- [32] P. Ragden and E. Blaustein, "Compressed Air Systems in the European Union - Energy, Emissions, Savings Potential and Policy Actions," 2000.
- [33] US Department of Energy, *Improving Compressed Air System Performance - a sourcebook for industry*. 2003.
- [34] D. Robison and P. Beaty, "Compressor types, Classifications, and Applications." [Online]. Disponível: <http://turbolab.tamu.edu/proc/turboproc/T21/T21183-188.pdf>. [Acedido: 27-Maio-2014].
- [35] I. F. Cunha, *Compressed air - Energy Efficiency Reference Guide*. 2007. [Online]. Disponível: http://www.ceati.com/freepublications/7017A_guide_web.pdf [Acedido: 24-Jun-2014].
- [36] E. C. N. Silva, "Apostila de Pneumática," 2002. [Online]. Disponível: <http://sites.poli.usp.br/d/pmr2481/pneumat2481.pdf>. [Acedido: 27-Maio-2014].
- [37] "Rotary screw air compressor (stationary) - 90 - 160 kW | R series - INGERSOLL RAND." [Online]. Disponível: <http://www.directindustry.com/prod/ingersoll-rand/rotary-screw-air-compressors-stationary-5703-1045601.html>. [Acedido: 29-Maio-2014].

- [38] BOGE, "Screw Compressors." [Online]. Disponível: http://www.boge.in/artikel/download/Brochure302_EN_Screw.pdf. [Acedido: 24-Jun-2014].
- [39] Sustainability Victoria, "Energy Efficiency Best Practice Guide Compressed Air Systems," 2009.
- [40] N. A. Mehlretter, "Applying Variable Speed Compressors in Multiple Applications - Application Success Stories and Improvement Stories," 2012. [Online]. Disponível: <http://www.airbestpractices.com/technology/air-compressors/applying-variable-speed-compressors-multiple-applications-application-suc>. [Acedido: 17-Jun-2014].
- [41] C. Cosetti and T. Filippi, "Panariagroup Industrie Ceramiche S.p.A.," 2012. [Online]. Disponível: http://www.panariagroup.it/com/pdf/cartellastampa/cartella_stamp_a_ING.pdf. [Acedido: 12-Jun-2014].
- [42] D. V. Heitich, "Relatório de estágio na empresa Grés Panaria Portugal S.A.," Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.
- [43] B. Delgado, "Relatório de Estágio," Instituto Politécnico da Guarda, Guarda, 2009.
- [44] EFINERG, "Plano sectorial de melhoria da eficiência energética em PME - Sector da cerâmica e do vidro," 2012.
- [45] Gres Panaria Portugal S.A., "Declaração Ambiental - Divisão Margrés," 2006.
- [46] União Europeia, "DIRECTIVA 2000/55/CE," *J. Of. das Comunidades Eur.*, 2000.
- [47] U.S. Department of Energy, "Determining Electric Motor Load and Efficiency." [Online]. Disponível: https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/10097517.pdf [Acedido: 12-Jun-2014].
- [48] R. Chirakalwasan, "Motor Load and Efficiency" *ASHARE J.*, 2006. [Online]. Disponível: http://www.ashraethailand.org/download/ashraethailand_org/journal_2006-2007_24_motor%20load%20&%20efficiency.pdf [Acedido: 24-Jun-2014].
- [49] J. Kueck, M. Olszewski, D. Casada, J. Hsu, P. Otaduy, and L. Tolbert, "Assessment of Methods for Estimating Motor Efficiency and Load Under Field Conditions." 1996.
- [50] WEG, "W22 Three-Phase Electric Motor - Technical Catalogue European Market." .
- [51] C. Burt, X. Piao, F. Gaudi, B. Busch, and N. Taufik, "Electric Motor Efficiency under Variable Frequencies and Loads," California, 2006.

8 Anexos

Anexo 1 – Preços da iluminação



Santos & Quelhas
material eléctrico

PROPOSTA Nº: JC 0536 / 14

Pág. 1/1

Este documento não serve de factura



Documento elaborado por: **JOÃO CRUZ**
T. 234300950 F. 234312390
jcruz.sq@mail.telepac.pt

AT.SR.: Eng Ernesto Maia

DATA: 13/02/2014

Natureza: Orçamento

PARA: GRES PANARIA PORTUGAL, S.A.

0252
CHOUSA NOVA
CHOUSA NOVA
3830-133 ILHAVO

Ex. mos Senhores,

Em resposta à consulta de V. Ex.as, que muito agradecemos, temos o prazer de propor o eventual fornecimento de:

| Pos | Quant | Un | Designação | Código | Preço | Desc | Subtotal | Prazo Ent. |
|-----|-------|----|---------------------------------------|---------|---------|------|----------|------------|
| 1 | 6,0 | UN | MHPK 2x80 BE LUM. ESTQ. POLICARB. EEE | E=00835 | 84,0000 | | 504,00 | 1 SEM |
| 2 | 12,0 | UN | LAMP. FLUOR T5 FQ 80W/840 HO | O682165 | 4,1500 | | 49,80 | IMED |

PREÇOS: Para materiais postos nas v/ instalações e sujeitos a IVA.

PAGAMENTO: - Com a entrega, com 2% desconto P.P.

- A 30 dias da data da factura, com 1% desconto P.P.

- A 60 dias da data da factura, líquido.

TOTAL LÍQUIDO: 553,80 EUR

Melhores Cumprimentos

Bobines de Cabos: serão a debitar e a retomar nos termos da nossa circular de 27 de Março de 2009.

Validade: 30 dias

Este documento não constitui documento de transporte, nos termos do Decreto-Lei n.º 147/2003

SANTOS & QUELHAS, LDA. R.D: Alberto Costa, 16 - Ap. 521 - 3901-061 Aveiro www.santosquelhas.pt info@santosquelhas.pt Soc. Quotas Cap. Social: 100.000€ Mat. Core. Aveiro NIF: 509031511

AVEIRO

Escritórios | Vendas | Atm. Gerais
Zona Industrial Aveiro - Ap. 5210
3811-101 AVEIRO
T. 234 300 950 F. 234 312 380

ÂQUEDA

Barresinhas, loja 6 - Mourisca
do Vauz 3750-772 TROFA
T. 234 848 796 F. 234 848 799
aqueda@santosquelhas.pt

S. MARIA DA FEIRA

E.N.1, Meta Língua - Ap. 533
4524-908 ESCADAPES
T. 256 811 658 F. 256 811 859
feira@santosquelhas.pt

V. NOVA DE GAIA

R. Lagos, 230 - Z.I. São Geronimo
4405-291 CANELAS
T. 22 712 5150 F. 22 712 5522
gaia@santosquelhas.pt

VISEU

Zona Industrial do Mundo
3605-499 VISEU
T. 231 922 008 F. 231 924 174
viseu@santosquelhas.pt

MEALHADA

Z. Industrial Ponte de Vadores
3050-480 PAMPILHOSA
T. xxx xxx xxx F. xxx xxx xxx
mealhada@santosquelhas.pt

REXEL-Distribuição de Material Eléctrico,SA
Av.D.João II, 14 1.12.02.Torre B,14º
Eq.Naões 1990-077 LISBOA Portugal

Matricul. Conserv.R.Com.Lisboa sob N°501142070
Contribuinte: 501 142 070
Capital Social: 3.214.353 Euros
Registo Produtor EEE (SIRPEEE): n°PT000094

OFERTA DE PREÇO

| N°Cliente | N°Contribuinte | N°Documento | Data Documento |
|-----------|----------------|-------------|----------------|
| 002977 | | 924743 | 23/04/2014 |

N/Referencia: 5/AL/0924743
V/Referencia: ANDRÉ
ANDRÉ SANTIAGO

ANDRÉ SANTIAGO
AVEIRO

3800 -000 AVEIRO

Att.: ANDRÉ SANTIAGO

Página 001

Em resposta à vossa consulta acima referenciada, apresentamos as nossas melhores condições de preço e prazo:

| Pos. | Código | Designação | Qt.Proposta | Pr.Unitário | Desc. | Iva | | |
|------|--------|----------------------------|-------------|-------------|--------|-------|--|--|
| 1 | 300000 | TMX400 2XTL5-80W HFP | 148 UN | 75,00 | 35,00% | 23,00 | | |
| 2 | 300000 | GMX570 C-NB | 148 UN | 33,00 | 35,00% | 23,00 | | |
| 3 | 300000 | TMX400 1XTL5-80W HFP | 20 UN | 54,00 | 35,00% | 23,00 | | |
| 4 | 300000 | GMX555 MB | 20 UN | 22,00 | 35,00% | 23,00 | | |
| 5 | 300000 | LAMP TL5 HO ECO 73-80W/840 | 316 UN | 15,85 | 25,00% | 23,00 | | |

Prazo Entrega: A COMBINAR
Portes:
Validade: 2 SEMANAS
Embalagem:
Pagamento:

TOTAL ECOVALOR (REEE) S/IVA: 0,00
VALOR LÍQUIDO PRODUTOS S/IVA: 15.134,84

Colocamo-nos desde já à vossa inteira disposição para prestar todos os esclarecimentos necessários, e agradecemos a referencia a esta proposta em toda a correspondencia ou futuros contactos.

Com os melhores cumprimentos,

PARA CONTACTO, POR FAVOR UTILIZE O ENDEREÇO:

Diogo.Azevedo@rexel.pt

DIOGO AZEVEDO

Agencia de: AVEIRO
ZONA INDUST. AVEIRO, LOTE 4
3800 AVEIRO

TELEFONE: 234385396
TELEFAX: 234310603

Este Documento NÃO serve como Factura.

Anexo 2 – Preços dos motores

Bom dia Exmo. Engº André Santiago,

Desde já agradecemos a V/consulta.

No seguimento do V/pedido junto enviamos a N/oferta comercial.

Motor Tipo: W21 100L 3 kW 1500rpm B3T IE2

Quant: 1

Custo unitário líquido: 182,00 Euros + IVA

Prazo de entrega: IMEDIATO, salvo venda

Motor Tipo: W21 100L 3 kW 1500rpm B3T IE3

Quant: 1

Custo unitário líquido: 210,00 Euros + IVA

Prazo de entrega: IMEDIATO, salvo venda

Motor Tipo: W22 112M 4 kW 1500rpm B3T IE2

Quant: 1

Custo unitário líquido: 220,00 Euros + IVA

Prazo de entrega: IMEDIATO, salvo venda

Motor Tipo: W22 132S 5,5 kW 1500rpm B3T IE2

Quant: 1

Custo unitário líquido: 290,00 Euros + IVA

Prazo de entrega: IMEDIATO, salvo venda

Motor Tipo: W22 112M 4 kW 1500rpm B3T IE3

Quant: 1

Custo unitário líquido: 255,00 Euros + IVA

Prazo de entrega: IMEDIATO, salvo venda

Motor Tipo: W22 132S 5,5 kW 1500rpm B3T IE3

Quant: 1

Custo unitário líquido: 331,00 Euros + IVA

Prazo de entrega: IMEDIATO, salvo venda

Estamos disponíveis para qualquer esclarecimento adicional que entendam necessário.

Cordialmente

A. Amaral

WEG – Região Centro

Telef./Fax: + 234 723 187 - Telem.: 96 1881096

amaralsantos@sapo.pt - www.weg.net

Anexo 3 – Imagens da câmara termográfica

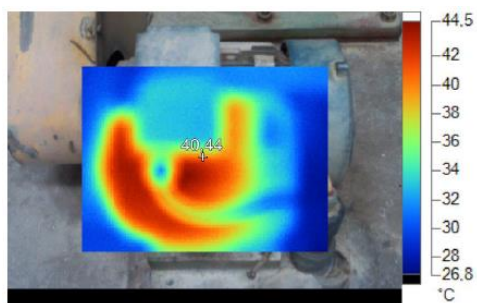


Figura 8.1 - Motor ABR 1.

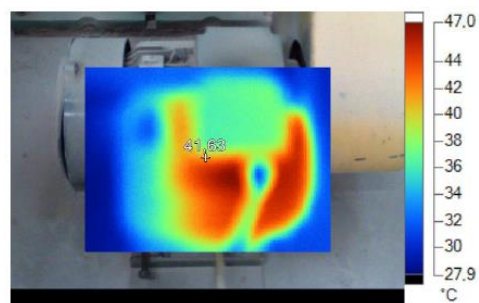


Figura 8.2 - Motor ABR 2.

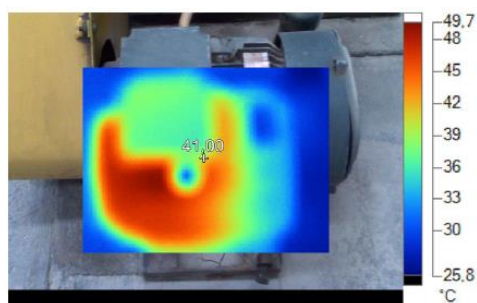


Figura 8.3 - Motor ABR 3.

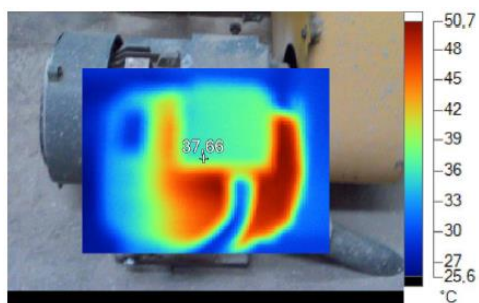


Figura 8.4 - Motor ABR 4.

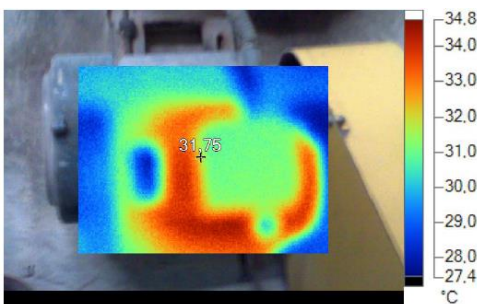


Figura 8.5 - Motor ABR 5.

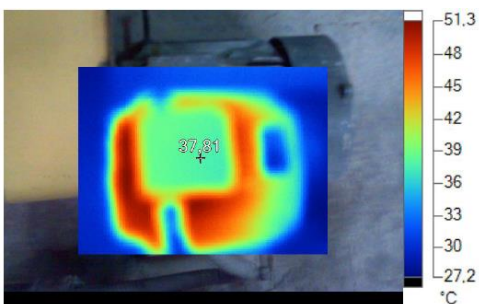


Figura 8.6 - Motor ABR 6.

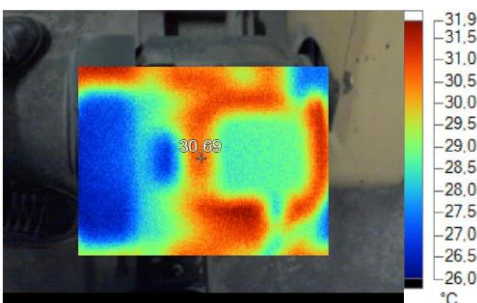


Figura 8.7 - Motor ABR 7.

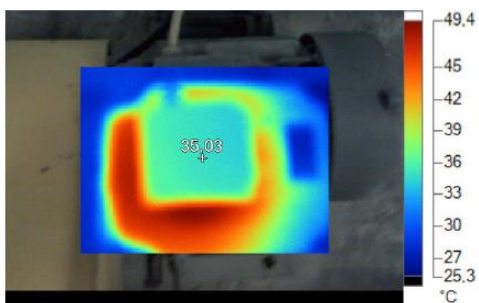


Figura 8.8 - Motor ABR 8

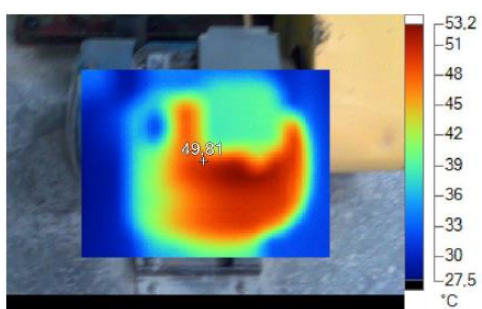


Figura 8.9 - Motor ABR 9.

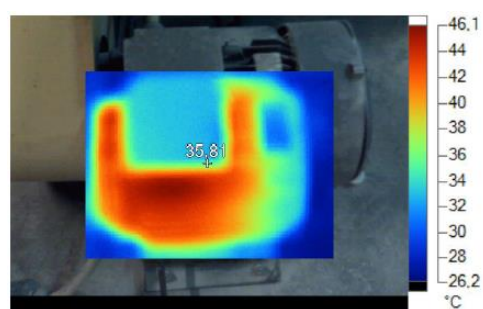


Figura 8.10 - Motor ABR 10.

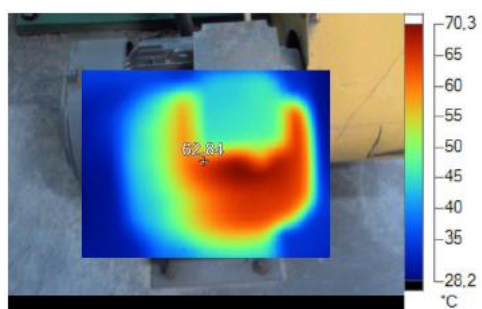


Figura 8.11 - Motor ABR 12.

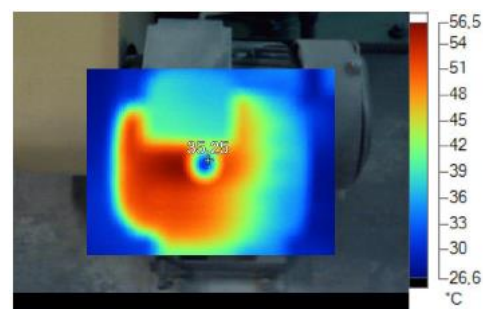


Figura 8.12 - Motor ABR 28.

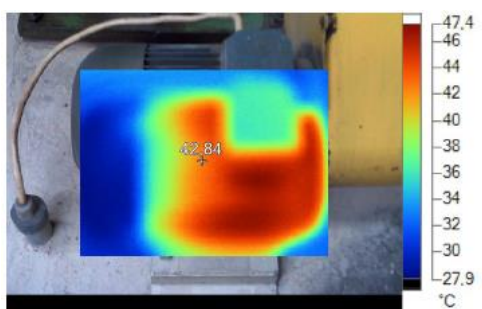


Figura 8.13 - Motor ABR 19.

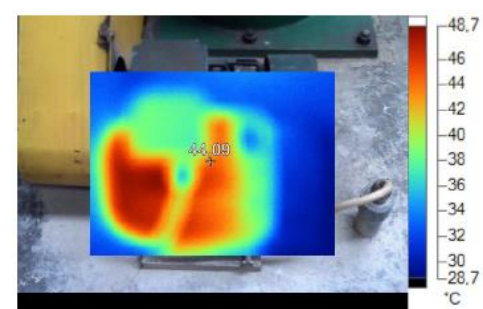


Figura 8.14 - Motor ABR 20.

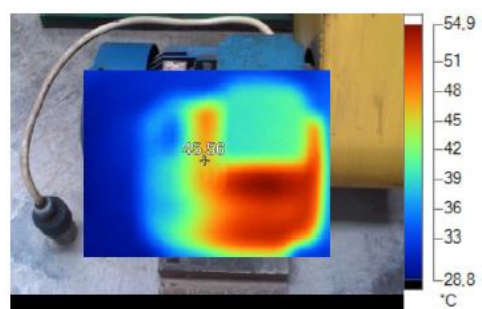


Figura 8.15 - Motor ABR 27.

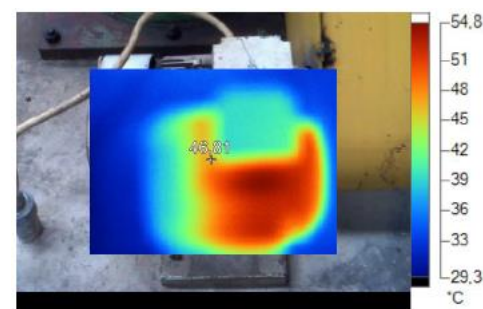


Figura 8.16 - Motor ABR 30.

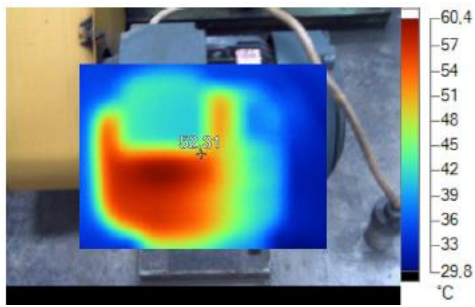


Figura 8.17 - Motor ABR 23.

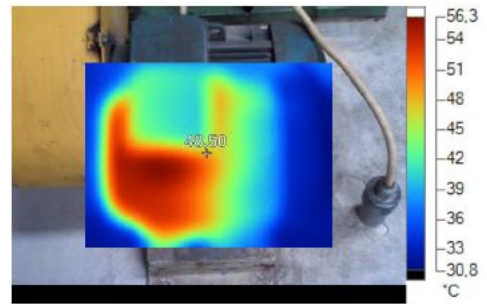


Figura 8.18 - Motor ABR 24.

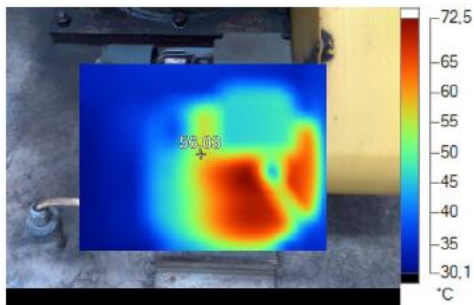


Figura 8.19 - Motor ABR 26.

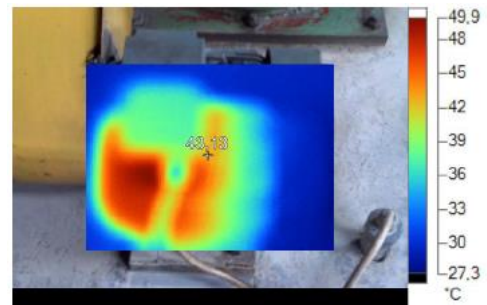


Figura 8.20 - Motor ABR 32.

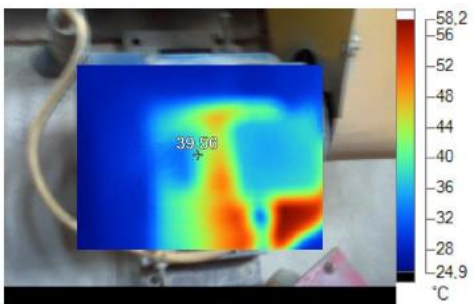


Figura 8.21 - Motor ABR 15.

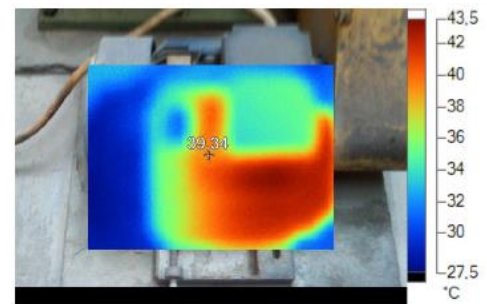


Figura 8.22 - Motor ABR 16.

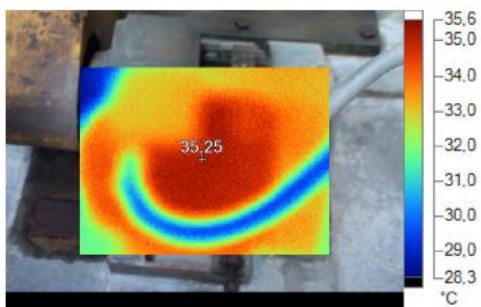


Figura 8.23 - Motor ABR 13.

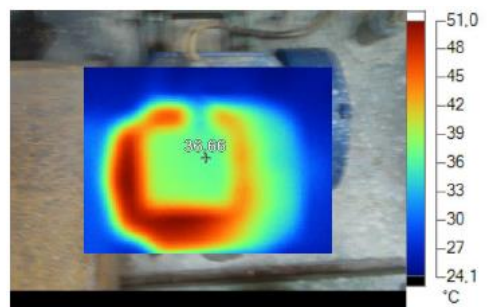


Figura 8.24 - Motor ABR 14.